

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ingeniería Industrial

Escuela Profesional de Ingeniería

Agroindustrial e Industrias Alimentarias



## INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN PROFESIONAL

**“OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DEL BANANO ORGÁNICO (*Musa x paradisiaca*) NO EXPORTABLE”**

**Presentada por:**

ARANEDA AGURTO IVON DEL ROSARIO

CORREA GARCIA CINTHIA JACKELINE

IRAZABAL CHANGANAQUE FIORELI

**Asesorado por:**

Dr. Luciano Castillo Torres

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL E  
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Línea de Investigación:**

**Agroindustria y Seguridad Alimentaria**

**Sub línea de Investigación:**

**Producción y Transformación de Alimentos**

**Piura, Perú**

**2019**

## ***Agradecimiento***

*A nuestro asesor Dr. Luciano Castillo Torres por guiarnos en la elaboración de este proyecto brindándonos sus conocimientos*

*Al técnico Jesús Dávila por facilitarnos los equipos y materiales que necesitábamos para la experimentación asimismo de su tiempo y dedicación para que este proyecto vaya en marcha*

*A nuestros maestros por todos los conocimientos compartidos en las aulas de la universidad nacional de Piura, logrando enriquecer nuestro aprendizaje-*

***Araneda Agurto Ivon del Rosario***

***Correa García Cinthia Jackeline***

***Irazabal Changanaque Fioreli Carina***

### ***Dedicatoria***

*Leonardo, tu afecto y tu cariño son los detonantes de mi felicidad, de mi esfuerzo, de mis ganas de buscar lo mejor para ti.*

*Aún a tu corta edad, me has enseñado y me sigues enseñando muchas cosas de esta vida.*

*A mi esposo por acompañarme en el trayecto, a mi hermana Grecia por ser mi ejemplo de solidaridad y amor de hermanos. Fueron mi motivación más grande para culminar con éxito este proyecto.*

***Araneda Agurto Ivon del Rosario***

*A mis padres, Juan y Zulema por confiar en mí y darme la bendición de una profesión; a mi hija por su paciencia y comprensión en mi ausencia y a José, por su amor y apoyo incondicional.*

***Correa García Cinthia Jackeline***

*A Valeria por ser mi principal motivación, para alcanzar mis metas, por contagiarme de su energía para no darme por vencida, a mis padres por su apoyo incondicional y por ser mi mejor ejemplo de esfuerzo, dedicación y superación.*

***Irazabal Changanque Fioreli Carina***

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA



Facultad de ingeniería Industrial  
Escuela Profesional de Ingeniería  
Agroindustrial e Industrias Alimentarias



## INFORME DE INVESTIGACION PROFESIONAL

### OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DEL BANANO ORGÁNICO (*Musa x paradisiaca*) NO EXPORTABLE"

Línea De Investigación: Agroindustria Y Seguridad Alimentaria

Sub Línea De Investigación: Producción Y Transformación De Alimentos

---

**MSc. DUBERT REYES VASQUEZ**  
Miembro del jurado calificador

---

**MBA. ALEJANDRO ANTONIO LAZO SILVA**  
Miembro del jurado calificador

---

**ING. RICARDO NOE AGREDA PALOMINO**  
Miembro del jurado calificador

## **DECLARACION JURADA DE ORIGINALIDAD DEL INFORME DE INVESTACION**

Yo, **Araneda Agurto Ivon del Rosario** identificado con **DNI 47637063**, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial e Industrias Alimentarias de la facultad de Ingeniería Industrial y domiciliado Calle 26 de abril N°261 AA.HH Juan Velasco Alvarado, provincia de Sullana, departamento de Piura. Celular 945759503. Email: **ivon081091@gmail.com**

### **“OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DEL BANANO ORGÁNICO (*Musa x paradisiaca*) NO EXPORTABLE”**

**DECLARO BAJO JURAMENTO** que el informe de investigación que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada y/o realizada en el Perú o en el extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art N°411, del código Penal concordante con el Art 32° de la ley 27444 y ley del procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de autor.

En fe de cual firmo la presente

Piura, 22 de junio del 2019



---

**Araneda Agurto Ivon del Rosario**  
**DNI 47637063**

Artículo 411.- El que, es procedimiento administrativo. Hace una falsa declaración en relación con los hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de la libertad no menor de 1 ni mayor de 4 años.

Art.4. Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar el Grado Académico y Títulos Profesionales- RENATI Recolección del Consejo Directivo N° 033-2016 SUNEDU/CD

## **DECLARACION JURADA DE ORIGINALIDAD DEL INFORME DE INVESTACION**

Yo, **Correa García Cinthia Jackeline** identificado con **DNI 44159651**, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial e Industrias Alimentarias de la facultad de Ingeniería Industrial y domiciliado Calle. Vichayal N° 104 AA.HH. Santa Teresita, provincia de Sullana, departamento de Piura. Celular 985 000 901.

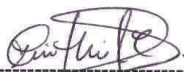
Email: c\_jackeline1@hotmail.com

### **“OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DEL BANANO ORGÁNICO (*Musa x paradisiaca*) NO EXPORTABLE”**

**DECLARO BAJO JURAMENTO** que el informe de investigación que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada y/o realizada en el Perú o en el extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art N°411, del código Penal concordante con el Art 32° de la ley 27444 y ley del procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de autor.

En fe de cual firmo la presente

Piura, 22 de junio del 2019



**Correa García Cinthia Jackeline**  
**DNI 44159651**

Artículo 411.- el que, es procedimiento administrativo. Hace una falsa declaración en relación con los hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de la libertad no menor de 1 ni mayor de 4 años.

Art.4. Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar el Grado Académico y Títulos Profesionales- RENATI Recolección del Consejo Directivo N° 033-2016 SUNEDU/CD

## DECLARACION JURADA DE ORIGINALIDAD DEL INFORME DE INVESTACION

Yo, **Irazabal Changanaque Fioreli Carina** identificado con **DNI 47348476**, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial e Industrias Alimentarias de la facultad de Ingeniería Industrial y domiciliado en pasaje 2 de febrero N°120 . AA. HH Froilán Alama del distrito de Querecotillo, provincia de Sullana, departamento de Piura. Celular 929 208 455. Email: [fioreli.irazabal@gmail.com](mailto:fioreli.irazabal@gmail.com)

### **“OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DEL BANANO ORGÁNICO (*Musa x paradisiaca*) NO EXPORTABLE”**

**DECLARO BAJO JURAMENTO** que el informe de investigación que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada y/o realizada en el Perú o en el extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art N°411, del código Penal concordante con el Art 32° de la ley 27444 y ley del procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de autor.

En fe de cual firmo la presente

Piura, 22 de junio del 2019

  
-----  
**Irazabal Changanaque Fioreli Carina**  
**DNI 47348476**

Artículo 411.- El que, es procedimiento administrativo. Hace una falsa declaración en relación con los hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de la libertad no menor de 1 ni mayor de 4 años.

Art.4. Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar el Grado Académico y Títulos Profesionales- RENATI Recolección del Consejo Directivo N° 033-2016 SUNEDU/CD

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**



**Facultad de ingeniería Industrial**

**Escuela Profesional de Ingeniería  
Agroindustrial e Industrias Alimentarias**

**Programa de Actualización Profesional para  
Titulación versión XVI-2019**



**“OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DEL BANANO ORGÁNICO (*Musa x  
paradisíaca*) NO EXPORTABLE”**

**INFORME DE INVESTIGACION PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS.**

Elaborado por:

Br. Araneda Agurto Ivon del Rosario

Br. Correa García Cinthia Jackeline

Br. Irazabal Changanaque Fioreli Carina





UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
PROGRAMA DE ACTUALIZACIÓN PARA TITULACIÓN PROFESIONAL



**ACTA DE EVALUACIÓN DEL INFORME DE  
INVESTIGACIÓN**

Los miembros del Jurado Calificador del Informe de Investigación denominado **"OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DEL BANANO ORGÁNICO (*Musa x paradisiaca*) NO EXPORTABLE"**, presentado por los Bachilleres: **IVON DEL ROSARIO ARANEDA AGURTO, FIORELI CARINA IRAZABAL CHANGANAQUE Y CINTHIA JACKELINE CORREA GARCÍA**, participantes del Programa de Actualización para Titulación Profesional en la **ESPECIALIDAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**, Versión XVI 2019-1; asesorados por el **Dr. Luciano Castillo Torres**; habiendo revisado el informe de investigación y absueltas las interrogantes formuladas por el Jurado Calificador, lo declaran:



APROBADO

Con los calificativos:

- IVON DEL ROSARIO ARANEDA AGURTO 13
- FIORELI CARINA IRAZABAL CHANGANAQUE 13
- CINTHIA JACKELINE CORREA GARCÍA 13

Piura, 22 de junio de 2019

RS

MSc. DUBERT REYES VÁSQUEZ  
Miembro del Jurado Calificador

[Signature]

MBA. ALEJANDRO ANTONIO LAZO SILVA  
Miembro del Jurado Calificador

[Signature]

ING. RICARDO NOÉ AGREDA PALOMINO  
Miembro del Jurado Calificador

# INDICE

CARATULA

RESUMEN

ABSTRAC

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I: ASPECTO DE LA PROBLEMÁTICA .....	3
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	3
1.1.1. Formulación del problema .....	4
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.3.1. Objetivo General.....	6
1.3.2. Objetivos específicos .....	6
1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
CAPITULO II: MARCO TEORICO .....	7
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION .....	7
2.2. BASES TEÓRICAS.....	9
2.2.1. Banano ( <i>Musa paradisiaca</i> ).....	9
2.2.1.1. Descripción Botánica .....	10
2.2.1.2. Especificaciones técnicas:.....	12
2.2.1.3. Zonas agroecológicas de producción .....	12
2.2.1.4. Ciclo fenológico.....	13
2.2.1.5. Requerimientos Climáticos:.....	13
2.2.1.6. Requerimiento de Suelos y Agua:.....	17
2.2.1.7. Propiedades nutricionales y medicinales .....	17
2.2.1.8. Consumo y aplicaciones del fruto.....	17
2.2.1.9. Producción .....	17
2.2.2. Fermentación.....	18
2.2.3. <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> .....	20
2.2.3.1. Características generales.....	20
2.2.3.2. Características microscópicas. ....	22
2.2.3.3. Características macroscópicas.....	22
2.2.3.4. Condiciones de cultivo.....	23
2.2.3.5. Interés de <i>S. cerevisiae</i> para la investigación en biología y biotecnología. ....	24
2.2.4. DESTILACIÓN .....	25
2.2.4.1. Destilación Simple .....	26

2.2.4.2. Destilación Fraccionada .....	26
2.2.4.3. Destilación al Vacío .....	27
2.2.4.4. Rectificación .....	28
2.2.4.5. Destilación azeotrópica .....	29
2.2.5. Bioetanol .....	30
2.2.5.1. Obtención del Bioetanol.....	31
2.3. GLOSARIO .....	33
2.4. MARCO REFERENCIAL .....	35
2.5. HIPÓTESIS GENERAL .....	35
2.6. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	35
CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO .....	36
3.1. ENFOQUE Y DISEÑO .....	36
3.3. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	37
3.3.1. Lugar de ejecución .....	37
3.3.2. Materiales.....	38
3.3.3. Equipos .....	38
3.3.4. Reactivos.....	38
3.3.5. Diagrama de flujo del proceso .....	39
3.3.6. Procedimiento .....	40
3.3.6.1. Recolección.....	40
3.3.6.2. Maduración .....	40
3.3.6.3. Pesado .....	40
3.3.6.4. Selección y lavado .....	40
3.3.6.5. Preparación y acondicionamiento del mosto.....	41
3.3.6.6. Procedimiento de fermentación.....	41
3.3.6.7. Destilación .....	42
3.3.6.8. Determinación de la presencia de etanol.....	42
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	43
3.4.1. Análisis fisicoquímicos para la materia prima .....	43
3.4.2. Análisis fisicoquímicos para el Mosto previo a la destilación .....	43
3.4.3. Para el producto final .....	43
3.4.3. ASPECTOS ETICOS.....	43
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	44
4.1. ANALISIS DE RESULTADOS .....	44
4.1.1. Antes de la fermentación.....	44
4.1.1.1. En el Banano .....	44
4.1.2. De los tratamientos .....	45

4.1.3. Durante el proceso de Fermentación.....	46
4.1.3.1. El Tiempo y Temperatura .....	47
4.1.3.2. El Brix .....	47
4.1.3.3. pH.....	49
4.1.3.4. Acidez .....	51
4.1.4. Rendimientos .....	54
4.1.4.1. En la Materia Prima .....	54
4.1.4.2. En el Producto Final.....	54
4.2. ANALISIS ESTADISTICO.....	55
4.1.1. Varianza en los °Brix finales .....	55
4.2.2. Varianza en pH final .....	56
4.2.3. Varianza en Acidez finales .....	58

## INDICE DE CUADROS

Cuadro1.1.Reporte de Cajas de almacén de Producto Terminado.....	6
Cuadro2.1.Clasificación taxonómica de <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> .....	21
Cuadro3.1.Factores y niveles para el modelo estadístico.....	37
Cuadro4.1.Resultados físico-químicos de la muestra en la fruta.....	45
Cuadro 4.2. Propiedades químico físicas para diferentes estados de madurez (EM) del banano.....	46
Cuadro4.3.Formulaciones experimentales de tratamientos.....	47
Cuadro 4.4. Respuestas experimentales de las observaciones al finalizar la fermentación.....	47
Cuadro4.5.Cinética de los grados Brix en 25°C.....	49
Cuadro4.6.Cinética de los grados Brix en 37°C.....	49
Cuadro4.7.Cinética del pH en la fermentación a 25°C.....	51
Cuadro4.8.Cinética del pH en la fermentación a 37°C.....	51
Cuadro4.9.Acidez final de los tratamientos a 25°C.....	53
Cuadro4.10.Acidez final de los tratamientos a 37°C.....	53
Cuadro4.11. Volumen de Alcohol Obtenido por Tratamiento.....	55
Cuadro4.12. Brix Finales de los Tratamientos.....	56
Cuadro4.13.Análisisde Varianza para brix finales a 25°C.....	56
Cuadro4.14.Análisisde Varianza para brix finales a 37°C.....	57
Cuadro4.15.pH final de los tratamientos.....	58
Cuadro4.16.Análisisde Varianza para pH final a 25°C.....	58
Cuadro4.17.Análisisde Varianza para pH final a 37°C.....	58
Cuadro4.18. Acidez final de los tratamientos.....	59
Cuadro4.19.Análisisde Varianza para Acidez final a 25°C.....	59
Cuadro4.20.Análisisde Varianza para Acidez final a 37°C.....	60

## INDICE DE FIGURAS

Figura2.1.Esquema General de la planta de Plátano.....	10
Figura2.2. Estadios de Crecimiento.....	14
Figura2.3. Siembra: primavera; variedad: Cavendish Valery.....	17
Figura2.4. Mecanismo de Fermentación Alcohólica.....	20
Figura2.5.Transformación de glucosa a etanol.....	21
Figura2.6. Vista microscópica de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	23
Figura2.7.Vista macroscópica de <i>Sacharomyces cereviciae</i> en medio YPG.....	23
Figura2.8. Destilación Fraccionada.....	27
Figura2.9. Destilación al vacío.....	29
Figura 2.10 Rectificación.....	30
Figura2.11 Destilación Aerotrópica.....	31
Figura3.1.Flujograma Propuesto para la Elaboración de Bioetanol.....	40
Figura4.1.Cinética de los grados brix a 25 °C.....	49
Figura4.2.Cinetica de los grados brix a 37°C.....	50
Figura4.3.Cinética del pH en la fermentación a 25°C.....	51
Figura4.4.Cinética del pH en la fermentación a 37°C.....	52
Figura4.5.Acidez final de los tratamientos a 25°C.....	53
Figura4.6.Acidez final de los tratamientos a 37°C.....	54

## RESUMEN

Se están probando diversas opciones de producto para la producción de Etanol partiendo de tipos de sustrato de abundante disposición y esta investigación sigue los pasos de esta tendencia que busca opciones de mejor aprovechamiento a la materia prima. El banano no exportable cumple con las características mínimas para un óptimo resultado, además que su utilización sería una opción más rentable para los productores y asociaciones que se ven afectados cuando un porcentaje de su cosecha no cumple con los estándares de calidad para la exportación, este estudio apertura una posibilidad de mejor aprovechamiento utilizando los procesos fisicoquímicos de transformación para la obtención de bioetanol. La secuencia de procesos para la obtención de etanol a nivel de laboratorio fue: maduración, estandarización, fermentación y destilación, utilizando temperaturas de fermentación del mosto de 25°C y 37°C. Se consiguió un destilado del 30% de pureza en un rendimiento de 0.054 ml de etanol/g de sustrato. En conclusión, se puede afirmar que es técnicamente posible la producción de etanol a partir de la pulpa del banano de descarte es necesario abordar con mayor profundidad las condiciones óptimas para cada proceso con el fin de implementar dicha tecnología a nivel industrial.

**Palabras Claves:** Fermentación, obtención de bioetanol, banano no exportable.

## ABSTRAC

Various product options are being tested for the production of ethanol based on the types of substrate of abundant disposition and this research follows the steps of this trend that seeks options of better use to the raw material. No exportable bananas have the minimum characteristics for optimum results, and their use would be a more profitable option for producers and associations affected when a percentage of their harvest does not meet the standards of Quality for the export, this study opens a possibility of better use using the processes physicochemical of transformation for the obtaining of bioethanol. The sequence of processes for obtaining ethanol at the laboratory level was: maturation, standardization, fermentation and distillation, using fermentation temperatures of the must of 25 °c and 37 °c whose results are reflected in the tables of analysis. Corresponding was obtained a distillate of 30% purity in a yield of 0.054 ml of ethanol/g of biomass. In conclusion, it is technically possible to produce ethanol from the pulp of discard bananas, it is necessary to address more deeply the optimal conditions for each process in order to implement such technology at the industrial level.

**Key words:** fermentation, obtaining bioethanol, discard banana.



## INTRODUCCIÓN

El banano orgánico (*Musa x paradisiaca*.) en el Perú, es un cultivo que se caracteriza por ser una valiosa alternativa alimenticia y un importante generador de ingresos económicos. En los últimos diez años el Perú se ha insertado en la comunidad de países exportadores de banano orgánico, ubicándose las mayores y principales áreas de producción en la costa norte del país: Tumbes (13%), Piura (81%), Lambayeque (4%) y La Libertad (2%). (UNALM, 2013).

En el año 2014 la producción de banano orgánico ocupó alrededor de 5 500 ha, cerca del 4% de la superficie total de producción de banano. Ésta se concentró en las regiones septentrionales de Piura, Tumbes y Lambayeque, y fue producida principalmente por pequeños propietarios con parcelas de menos de tres hectáreas. Desde que nuestro país comenzó la conversión de banano convencional a orgánico a finales de los años noventa, más del 80% de este se ha concentrado en el Valle del Chira Sullana.

En la actualidad se tiene un registro total aproximado de 6500 hectáreas certificadas en producción, siendo la tendencia de crecimiento positivo, lo cual se estima permitirá en un mediano plazo poder consolidarnos como unos de los principales países exportadores de banano orgánico.

El potencial exportador se ve afectado por un deficiente manejo en la cosecha y postcosecha, que a pesar de los esfuerzos que realizan las asociaciones y entidades interesadas para dar asistencia técnica y mejorar los ratios de descarte, estos siguen siendo montos significativos.

Estudios demuestran que banano es una materia prima apta para la obtención de bioetanol dado que presenta un alto contenido de carbohidratos (aproximadamente 20% de su peso) idóneos para procesos fermentativos encaminados a la producción de alcohol, el cual se obtiene mediante un proceso fermentativo en el cual se utilizan microorganismos capaces de convertir el azúcar en etanol.

El Etanol es un biocombustible por lo que, posee las ventajas siguientes: es almacenable, permite satisfacer la mayor parte de los usuarios finales (por ser renovable), es ubicua, es escalable y es comercialmente madura. Además, los biocombustibles podrían idealmente tener ventajas sobre los combustibles fósiles con respecto a sus bajos costos y alto contenido energético, así como también

podrían tener una ganancia de energía neta, ya que se obtendrían beneficios ambientales y pueden ser reproducibles en grandes cantidades sin impactar el suministro de alimentos (Hill et al, 2006).

La presente investigación está dirigida hacia obtención de Bioetanol, a partir de la pulpa del banano de descarte; determinando los parámetros físico-químicos para llevar a cabo la fermentación alcohólica y concluyendo con los rendimientos obtenidos en la experimentación realizada. Para ello se ha dividido el trabajo del siguiente modo:

En el capítulo I, se explica realidad problemática, y se justifica la investigación además de los objetivos a alcanzar que se plantearon.

En el capítulo II, se abordan las bases teóricas que nos proporcionan el conocimiento necesario, y que coadyuvaron en la realización de la investigación. Además del planteamiento de la hipótesis.

En el Capítulo III, se desarrolla el marco metodológico de la investigación en el que se indican los procedimientos que se emplearon para que la investigación otorgue los resultados más precisos posibles.

En el capítulo IV, se realiza una explicación de los resultados que se ha obtenido, de modo que puedan ser analizados y contrastados por quien lo considere.

Además de las conclusiones y recomendaciones finales y la adición de anexos que se consideran importantes para que la tesis quede muy clara.

## **CAPITULO I: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA**

### **1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

La producción de banano orgánico se orienta básicamente al mercado internacional, donde los estándares establecidos en torno a localidad y a la presentación (incluido el tamaño) son altos.

El banano de exportación se somete a un proceso de control de calidad intensivo, para que llegue a su destino en el estado de madurez acertado y libre de manchas, suciedades y cicatrices de maltrato. De acuerdo con el CODEX STAN 205, la fruta que no cumple con los requisitos mínimos de calidad se clasifica en categoría II, siendo destinada al mercado nacional.

Así mismo cuando las expectativas de demanda de banano de exportación no se cumplen en el tiempo estipulado, el momento de corte de los racimos se supera y no permite que sean aprovechados para exportaciones futuras. Esta fruta queda disponible en los campos. (Saldarriaga, 1982).

Aquella fruta que no cumple con los estándares establecidos es descartada y devuelta a los productores para que pueda ser distribuida al mercado nacional. El descarte puede llegar a 19 cajas mensuales por hectárea, en promedio, según los cuidados y la técnica de cultivo que el productor aplique. (Fuente: Economía y sociedad 69, CIES, nov 2008).

Considerando la cantidad del descarte del Banano Orgánico que se genera de las cosechas y de los almacenes de producto terminado ( Asociaciones de Querecotillo) buscamos así la forma de aprovechar el Banano Orgánico madurado (Musa paradisiaca) producido en la zona, transformándolo para obtener un nuevo producto, ya que puede ser utilizado como sustrato para la degradación microbiana debido a su contenido en carbohidratos, convirtiéndolo así en un sustrato altamente productivo de azúcares fermentables y posibilita el uso de microorganismos capaces de transformar dichos desechos en un producto industrial como el etanol.

El Banano es una materia prima apta para la obtención de Bioetanol. Presenta un alto contenido de carbohidratos (aproximadamente 20% de su peso) aptos para procesos fermentativos encaminados a la producción de alcohol lo cual constituye una característica importante que converge con el hecho de que en el país se generan cada año aproximadamente 800 mil toneladas de Banano no apto para exportación . Actualmente una tercera parte de la fruta que no se exporta (rechazo) se destina al

consumo interno, otra tercera parte se emplea como materia prima en la producción de fertilizantes orgánicos (compost) para el cultivo de la misma fruta, y una tercera parte continúa considerándose como residuo. Son precisamente estos últimos dos tercios del residuo los que potencialmente se pueden usar en procesos de fermentación alcohólica. (Sierra D. M., 2007; Augura, 2008).

Por este motivo, el presente estudio experimental se basa en un análisis de literatura científica en materia de obtención de etanol a partir de residuos orgánicos del plátano o banano y se profundizará en cada uno de los títulos científicos recopilados.

### **1.1.1. Formulación del problema**

#### **1.1.1.1. Pregunta General**

¿Cómo obtener Bioetanol a partir de la pulpa de banano orgánico (Musa x paradisiaca) no exportable?

#### **1.1.1.2. Preguntas específicas**

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas en el proceso de obtención de Bioetanol?
- ¿Cuál será el rendimiento de Bioetanol obtenido a partir de la pulpa del banano orgánico (Musa x paradisiaca) no exportable?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

El petróleo es la fuente de energía más importante en la actualidad, pero tiene el problema de ser un recurso no renovable, lo que significa, que en determinado momento se agotará; es verdad que aún hay reservas importantes en el mundo pero dada la situación de demanda ante la creciente modernización que vivimos el gasto de energía es cada vez mayor. Según datos de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), el consumo diario a nivel global fue de 98,82 millones de barriles en 2018. Y la tendencia es que siga subiendo hasta los 100,23 millones de barriles por día en el año en curso, según estimaciones de la misma organización. Esto nos señala que en algún momento del futuro este recurso se agotara, lo que hace necesario la búsqueda de fuentes alternativas de

energía. Además que producir petróleo en la actualidad es muy costoso, los costes de producción oscilan entre 10 y 70 dólares por barril, con tendencia a la alza de acuerdo con la Agencia Internacional de la Energía (AIE).

Una opción importante a tomar en cuenta es la producción de combustible a partir de productos orgánicos como el maíz, la caña de azúcar, caña brava, etc. El presente Proyecto de Investigación evidenciará, en forma clara, la posibilidad de obtener un producto del banano orgánico como es el Etanol, por esta razón el proyecto es de suma importancia ya que daría a conocer una nueva alternativa para el aprovechamiento de la materia prima barata para la obtención semi-industrial.

Los beneficios que podría tener la industria son desarrollar nuevos productos, los cuales serían atractivos para el consumidor y abrirían nuevos mercados, implantando nuevas líneas de producción y a la vez promoviendo la creación de una fuente de trabajo.

El estudio da la posibilidad, de que los agricultores puedan vender todo su excedente de la cosecha, sin tener que desperdiciar el banano que no cumpla con los parámetros de calidad para ser exportados, o realizar productos artesanalmente con lo que van a obtener un mayor ingreso.

Por otro lado beneficiaría a la asociación, ya que el mayor porcentaje de descarte sale de los almacenes de producto terminado.

Según el Cuadro 1.1, en el año 2018 se descartaron del almacén de Producto terminado, más de 5 mil cajas de exportación, por temas de calidad, lo que hace un total de más de 97 TM de fruta.

**Cuadro 1.1: Reporte de Cajas de almacén de Producto Terminado**

<b>MES</b>	<b>CAJAS PRODUCIDAS</b>	<b>CAJAS EXPORTADAS</b>	<b>CAJAS DESCARTADAS</b>
<b>ENERO</b>	62754	62640	114
<b>FEBRERO</b>	77886	77160	726
<b>MARZO</b>	72472	72120	352
<b>ABRIL</b>	77505	77280	225
<b>MAYO</b>	83208	82800	408
<b>JUNIO</b>	58994	58680	314
<b>JULIO</b>	55039	54720	319
<b>AGOSTO</b>	63896	63360	536
<b>SEPTIEMBRE</b>	57507	56880	627
<b>OCTUBRE</b>	73423	72720	703
<b>NOVIEMBRE</b>	53330	53040	290
<b>DICIEMBRE</b>	55017	54360	657
<b>TOTAL (CAJAS)</b>	<b>791031</b>	<b>785760</b>	<b>5271</b>
<b>KG/CAJA (18.14)</b>	<b>14349302</b>	<b>14253686</b>	<b>95615.94</b>

**Fuente: Asociación de pequeños productores de Banano Orgánico.**

**Elaboración Propia**

Es importante señalar que además de lo antes mencionado al utilizar etanol como fuente de energía se reduce considerablemente el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que es enviado a la atmósfera terrestre ya que estos materiales lo van absorbiendo a medida que se van desarrollando, mientras que emiten una cantidad similar que los carburantes convencionales en el momento de la combustión.

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Obtener Bioetanol a partir del banano orgánico (Musa x paradisiaca) no exportable a través de un proceso de fermentación en Batch y destilación por arrastre de vapor.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

Determinar los parámetros físico-químicos para llevar a cabo la fermentación alcohólica.

Determinar el rendimiento por gramo de pulpa de banano orgánico.

#### **1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación se realizó en la provincia de Sullana departamento de Piura – Perú y participaron productores del banano orgánico de Querecotillo durante los meses de marzo y abril del 2019.

### **CAPITULO II: MARCO TEORICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION**

La historia de los biocombustibles se inicia a fines del siglo XIX y nace prácticamente con el uso de los hidrocarburos como fuente de energía. La idea de usar aceites vegetales como combustible para motores de combustión interna surgió en 1895. Ese mismo año el Dr. Rudolf Diesel desarrolló el primer motor diésel, cuyo prototipo ya estaba previsto que funcionará con aceites vegetales, que en las primeras pruebas funcionó bien.

Uno años después Henry Ford hizo el primer diseño de su automóvil modelo T eso fue en 1908, el esperaba utilizar el etanol como combustible. La Standard Oil empleó a principios de los años veinte, en el área de Baltimore, 25% de Etanol en la gasolina, pero dados los elevados precios del maíz, producto del que se obtenía, junto con los altos costos de almacenamiento y las dificultades en el transporte, hicieron abandonar el proyecto; además el petróleo irrumpió en el mercado más barato, más eficiente y más disponible.

A finales de 1979, a raíz de la crisis de los precios del petróleo, se estableció una mezcla de gasolina y Etanol de este modo los biocombustibles se volvían a presentar como una alternativa al alza de los precios del petróleo y al posible agotamiento de los recursos no renovables.

Las investigaciones de la producción de Etanol a partir del uso del banano o plátano son más recientes nosotros citamos algunos.

Escalante y Fuentes realizaron un estudio experimental de obtención de Bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura; para la obtención de Etanol a nivel de laboratorio; se realizó una secuencia de procesos como: pretratamiento, deslignificación, hidrólisis enzimática, fermentación y destilación; Se consiguió un destilado de 92% de pureza en peso y un rendimiento etílico de 0,078 g de etanol/g de biomasa. En conclusión, es técnicamente factible la producción de Etanol a partir de estos residuos. (Escalante, J. y Fuentes, H. 2013)

Flórez y Lara evaluaron el potencial de producción de etanol a partir de banano y el estudio y aplicación de la ingeniería de procesos en la obtención de etanol utilizando banano de rechazo como materia prima en la región de Urabá, por medio de fermentación y destilación, Se realizaron 4 pruebas de campo con diferentes grados Brix; se concluyó que el jugo de banano presenta un alto potencial de uso como sustrato en los procesos fermentativos para la producción de alcohol. Con este sustrato se lograron altos rendimientos y una conversión de más del 80% con respecto a los valores teóricos reportados en tablas de conversión Brix, lo que lo convierte en un sustrato promisorio para las fermentaciones alcohólicas. (Flórez, D. y Lara, A. 2011)

Zola y Barranzuela realizaron un estudio experimental de la producción de etanol a partir de cáscara de plátano o banano, bajo condiciones controladas a escala de laboratorio, aplicando métodos y procesos tales como hidrólisis ácida y fermentación anaeróbica. La investigación presenta como resultado la obtención de bioetanol, incoloro y con una pureza de 95%, que sería propuesto para su aplicación en cocinas acondicionadas en la elaboración de chifles. (Zola, M. y Barranzuela, M. 2017).

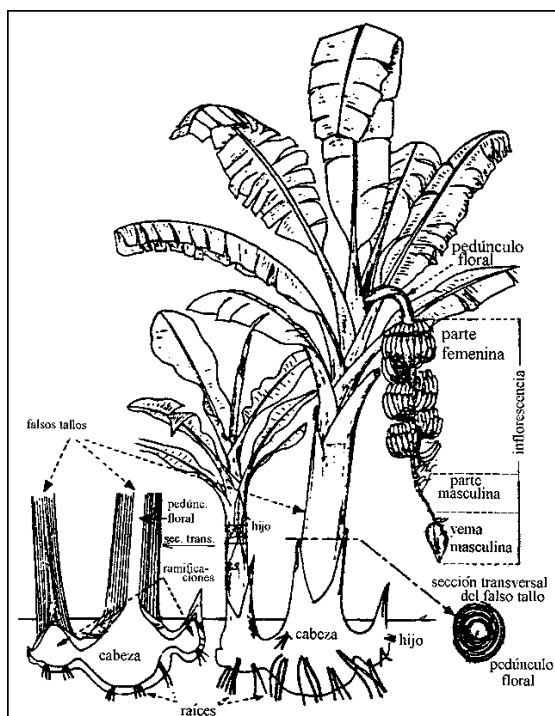
Mena evaluó el potencial de los residuos de plátano para la obtención de etanol, mediante un pre-tratamiento químico, sacarificando con enzimas lignocelulolíticas tanto de hongos modelos como de hongos lignocelulolíticos aislados de plantaciones del estado de Tabasco y fermentando con *Saccharomyces cerevisiae*; La concentración de etanol obtenido fue de 0.822 g/L. (Mena, X. 2011).



## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. Banano (*Musa paradisiaca*)

El nombre científico *Musa* × *paradisiaca* (o *Musa paradisiaca*) y los nombres comunes **banano**, **banana**, **plátano**, **cambur**, **topocho**, **maduro** y **guineo** hacen referencia a un gran número de plantas herbáceas del género *Musa*, tanto híbridos obtenidos horticulturalmente a partir de las especies silvestres *Musa acuminata* y *Musa balbisiana* como cultivares genéticamente puros de estas especies. Clasificado originalmente por Carlos Linneo como *Musa paradisiaca* en 1753, la especie tipo del género *Musa*, estudios posteriores han llevado a la conclusión de que la compleja taxonomía del género incluye numerosos híbridos, de variada composición genética, y se ha desarrollado un sistema estrictamente sui generis de clasificación para dar cuenta de esta variación. Sin embargo, de acuerdo con las reglas del Código Internacional de Nomenclatura Botánica, el nombre linneano cuenta con prioridad, y sigue siendo usado —tanto en su forma original como en la modificada *Musa* × *paradisiaca*, que indica que se trata de un híbrido— para designar genéricamente a estas variedades.



**Figura 2.1. Esquema General de la planta de Plátano**

### **2.2.1.1. Descripción Botánica**

- **Planta**

Es una herbácea perenne gigante, con rizoma corto y tallo aparente, que resulta de la unión de las vainas foliares, cónico y termina en una corona de hojas (Simmonds, 1966). Posee gran actividad celular, y es altamente exigente de nutrimentos, luminosidad, calor, humedad y suelos.

- **Sistema radicular**

Las raíces son superficiales distribuidas en una capa de 30-40 cm, concentrándose la mayoría a los 15 a 20 cm. Son de color blanco y tiernas cuando emergen, posteriormente son duras, amarillentas, brotan normalmente en grupos de cuatro en la superficie del cilindro central del rizma (Riopel y Steeves, 1964) y tienen un diámetro que oscila entre 5 y 10 mm; la longitud varía y pueden llegar entre 5 y 10 m en crecimiento lateral, si no son obstaculizadas durante su crecimiento, y hasta 1.5 m de profundidad. Varían considerablemente en número, según el estado de salud de la planta, encontrándose de 200 a 500 raíces (Robin y Champion, 1968).

- **Hojas**

Se originan en el punto central de crecimiento o meristemo terminal, situado en la parte superior del rizoma. La hoja se forma en el interior del pseudotallo y emerge enrollada en forma de cigarro, completamente desarrollada de emerger. Aumentan de tamaño hasta un máximo y después declinan bruscamente, poco antes de que el punto vegetativo se transforme en inflorescencias (Simmonds, 1966).

Son grandes, verdes y dispuestas en forma de espiral, de 2-4 m de largo y hasta 1,5 m de ancho, con un peciolo de 1 m o más de longitud y un limbo elíptico alargado, ligeramente decurrente hacia el peciolo, un poco ondulado y glabro. Cuando son viejas se rompen fácilmente de forma transversal por el azote del viento (Simmonds, 1966).

De la corona de hojas sale, durante la floración, un escapo pubescente de 5-6 cm de diámetro, terminado por un racimo colgante de 1-2 m de largo. Éste lleva una veintena de brácteas ovales

alargadas, agudas, de color rojo púrpura, cubiertas de un polvillo blanco harinoso. De las axilas de estas brácteas nacen a su vez las flores. La producción de las hojas cesa cuando emerge la inflorescencia (Soto, 1992).

- **Tallo**

Es un rizoma grande, almidonado, subterráneo, que está coronado con yemas; éstas se desarrollan una vez que la planta ha florecido y fructificado. A medida que cada chupón del rizoma alcanza la madurez, su yema terminal se convierte en una inflorescencia al ser empujada hacia arriba desde el interior del suelo por el alargamiento del tallo, hasta que emerge arriba del pseudotallo. (Herrera, 2011)

La planta adulta puede medir 5 m de altura y 40 cm de diámetro según el clon. Su estructura es resistente y puede soportar el peso de las láminas foliares y de su inflorescencia (Aubert, 1973).

- **Inflorescencia**

El punto de crecimiento se transforma en una yema floral, para iniciar la inflorescencia. Cuando la inflorescencia sale por el centro del pseudotallo, puede tener de 5 a 8 cm de diámetro y es de color blanco, cuando emerge del mismo se convierte en raquis externo se torna de color verde (Simmonds, 1962).

Posee flores hermafroditas y femeninas, en algunos clones las flores masculinas se caen. Cuando el tallo floral está totalmente formado se pueden distinguir las siguientes zonas: Una zona comprendida entre el rizoma en su parte más ancha y la base de la primera bráctea vacía, una parte que se extiende desde la primera bráctea con un glomérulo de flores femeninas y pistiladas y una tercera zona que empieza en la bráctea de la primera mano de flores pistiladas y termina en el ápice de la chira floral (Soto, 1985).

- **Fruto**

Se forma partiendo de los ovarios de las flores pistiladas que muestran un gran aumento en volumen; la parte comestible es el resultado del engrosamiento de las paredes del ovario convertido en una masa parenquimatosa cargada de azúcar y almidón (Simmonds, 1962).

#### **2.2.1.2. Especificaciones técnicas:**

- Nombre Común: Plátano.
- Nombre Científico: *Musa paradisiaca* L.
- Familia: Musaceae.
- Origen: Asia meridional.
- Variedades: Seda (Cavendish valery y Gros michel), Bellaco, Inguiri, Isla, Biscochito y Capirona.
- Periodo Vegetativo: De 300 a 360 días, según la variedad (Vida útil: 3 – 4 años).

#### **a) División Taxonómica**

La clasificación taxonómica del banano es la siguiente:

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Liliopsida
- Orden: Zingiberales
- Familia: Musaceae
- Género: Musa
- Especie: M. paradisiaca

#### **2.2.1.3. Zonas agroecológicas de producción**

Costa Norte: 16,54% - Piura y Tumbes.

Selva Baja: 49,8% - Loreto, San Martín, Ucayali y Madre de Dios.

Selva Alta: 32,07% - Amazonas, Huánuco, Pasco, Cusco, Puno, Junín y Cajamarca.

Otros: 1,59% (La Libertad, Ayacucho, Lima, Lambayeque, Ica y Ancash)

#### 2.2.1.4. Ciclo fenológico

1. **Retoño:** El hijuelo aparece al lado del tallo principal y tiene cerca de 10 cm de longitud.
2. **Inflorescencia:** Momento en que la inflorescencia ha salido de la cobertura de la hoja superior
3. **Floración:** Se abren las primeras flores. En algunas variedades las flores están ocultas; en estos casos se omitirá el registro de esta fase.
4. **Fructificación:** Cuando aparecen los primeros frutos. Maduración El primer fruto comienza a cambiar de color, en la mayoría de las variedades del verde oscuro al amarillo pálido.

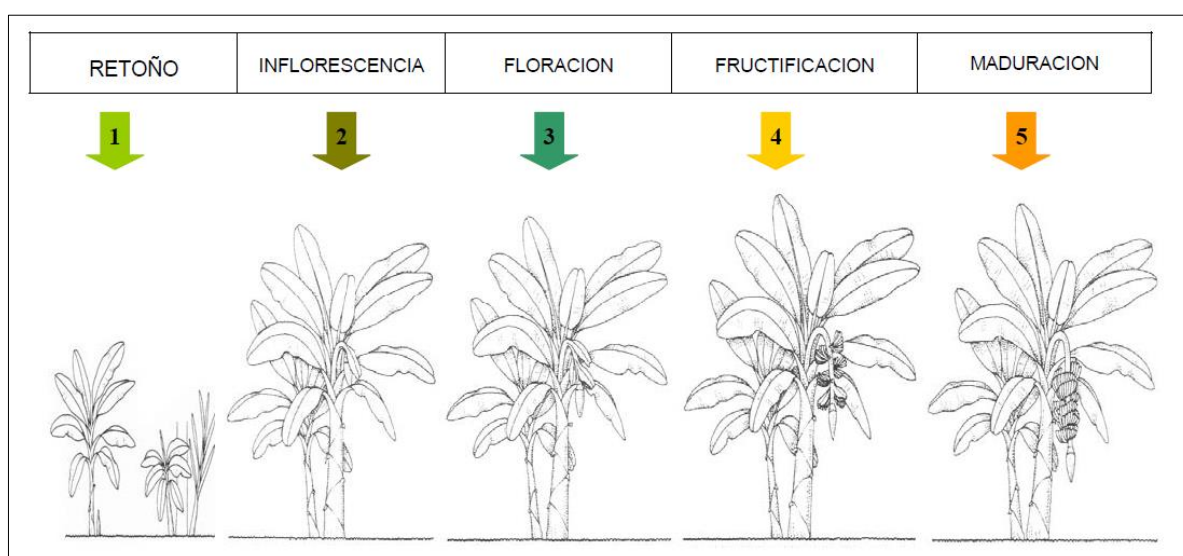


Figura 2.2. Estadios de Crecimiento

Elaboración: MINAGRI- DGPA

#### 2.2.1.5. Requerimientos Climáticos:

La planta alcanza una altura de 2m a 3 m y un fuste de unos 20 cm de diámetro. Los bananos son propios de regiones tropicales y sub tropicales, y rara vez dan buenos resultados fuera de la banda comprendida entre los 30° N y 30° S. Algunos cultivos están adaptados a altitudes de hasta 2,300 msnm, pero la mayoría no prospera a más de 600 m de altitud. La temperatura óptima para la floración ronda los 27 °C, y el crecimiento de los frutos se beneficia de una ligeramente superior. Por encima de los 37 °C las hojas padecen quemaduras y los frutos se deforman; por debajo de los 16 °C el ritmo de desarrollo se reduce sensiblemente, dando lugar a la aparición de una hoja por mes en

lugar del período óptimo de una por semana. Por debajo de los 10 °C, la planta detiene su crecimiento por completo, y el desarrollo de los frutos se aborta. Aún breves accesos de frío pueden matar las inflorescencias, ocasionar la podredumbre de los frutos ya presentes o abortar su desarrollo, dando lugar a frutos pequeños, de color verde gris y sabor débil. El régimen de lluvias debe ser constante, con unos 100 mm mensuales a lo largo del año (1,800 - 2,200 mm. de agua al año bien distribuidos para su desarrollo metabólico), y no más de tres meses de estación seca.

El sistema radicular de la planta del plátano es adventicio. Está compuesto por un eje radicular el cual produce las raíces primarias, a partir de ellas se desarrollan las secundarias. Así también el pseudotallo está formado por vainas envolventes de las hojas. La principal función del pseudotallo es soportar el peso de las hojas y las inflorescencias. Por otro lado el fruto se caracteriza botánicamente como una cereza con pericarpio. El fruto se forma partiendo de los ovarios de las flores postiladas que muestran un gran aumento en volumen. La forma del fruto varía con el cultivar y el color es generalmente amarillo (Ortiz, 1999). El plátano contiene una gran cantidad de taninos, teniendo estos taninos la función de prevenir el ataque de bacterias, hongos y herbívoros. Los taninos son los responsables del sabor amargo y astringente de la fruta verde, es de tres a cinco veces más abundante en la cáscara que en la pulpa del plátano químicamente se definen como sustancias fenólicas. En el plátano, el compuesto fenólico más abundante es la dopamina, (3-4 dihidroxifeniletilamina), el cual constituye el sustrato primario para el oscurecimiento enzimático. Cuando la cáscara de plátano maduro adquiere manchas color amarillo, la dopamina disminuye considerablemente. Durante la maduración del plátano, los taninos dejan de ser activos y pasan a ser ligados con la consecuente pérdida de astringencia (Zuñiga, 1993). La producción mundial promedio de plátano es de 29.9 millones de toneladas anuales, generada principalmente en África con un 73.2% de la producción, mientras que en América se produce el 27.8% con un promedio de 7.1 millones de toneladas anuales.

El sistema radicular de la planta del plátano es adventicio. Está compuesto por un eje radicular el cual produce las raíces primarias, a partir de ellas se desarrollan las secundarias. Así también el pseudotallo está formado por vainas envolventes de las hojas. La principal función del pseudotallo es soportar el peso de las hojas y las inflorescencias. Por otro lado el fruto se caracteriza botánicamente

como una cereza con pericarpio. El fruto se forma partiendo de los ovarios de las flores postiladas que muestran un gran aumento en volumen. La forma del fruto varía con el cultivar y el color es generalmente amarillo (Ortiz, 1999).

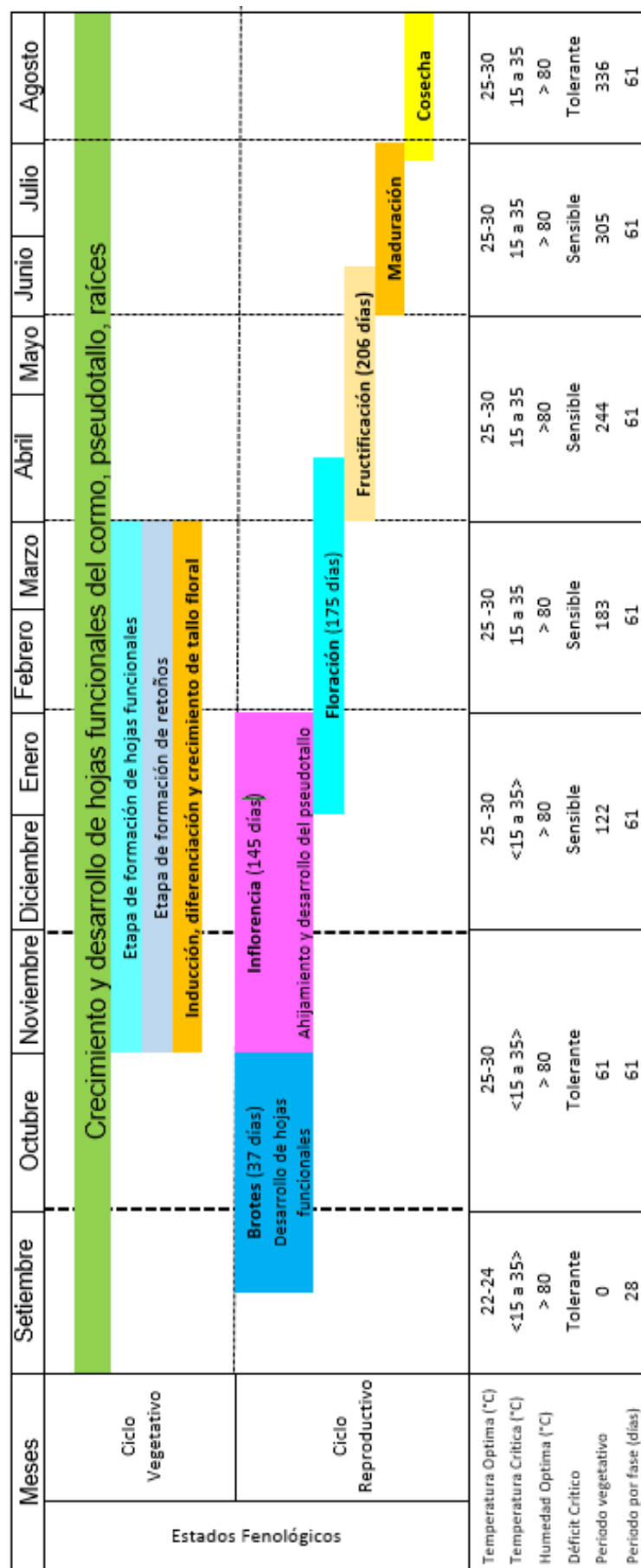
El plátano contiene una gran cantidad de taninos, teniendo estos taninos la función de prevenir el ataque de bacterias, hongos y herbívoros. Los taninos son los responsables del sabor amargo y astringente de la fruta verde, es de tres a cinco veces más abundante en la cáscara que en la pulpa del plátano químicamente se definen como sustancias fenólicas. En el plátano, el compuesto fenólico más abundante es la dopamina, (3-4 dihidroxifeniletilamina), el cual constituye el sustrato primario para el oscurecimiento enzimático. Cuando la cáscara de plátano maduro adquiere manchas color amarillo, la dopamina disminuye considerablemente. Durante la maduración del plátano, los taninos dejan de ser activos y pasan a ser ligados con la consecuente pérdida de astringencia (Zúñiga, 1993).

Los bananos son propios de regiones tropicales y subtropicales, y rara vez dan buenos resultados fuera de la banda comprendida entre los 30° N y 30° S. Algunos cultivos están adaptados a altitudes de hasta 2,300 msnm, pero la mayoría no prospera a más de 600 m de altitud.

La temperatura óptima para la floración ronda los 27 °C, y el crecimiento de los frutos se beneficia de una ligeramente superior. Por encima de los 37 °C las hojas padecen quemaduras y los frutos se deforman; por debajo de los 16 °C el ritmo de desarrollo se reduce sensiblemente, dando lugar a la aparición de una hoja por mes en lugar del período óptimo de una por semana. Por debajo de los 10 °C, la planta detiene su crecimiento por completo, y el desarrollo de los frutos se aborta.

Aún breves accesos de frío pueden matar las inflorescencias, ocasionar la podredumbre de los frutos ya presentes o abortar su desarrollo, dando lugar a frutos pequeños, de color verde gris y sabor débil.

El régimen de lluvias debe ser constante, con unos 100 mm mensuales a lo largo del año (1,800 – 2,200 mm. de agua al año bien distribuidos para su desarrollo metabólico), y no más de tres meses de estación seca.



**Figura 2.3. Siembra: Primavera; variedad: Cavendish Valery**  
**Fuente: Estación Mallares – 000208**  
**Elaboración: MINAG – DGCA – DIA.**



#### **2.2.1.6. Requerimiento de Suelos y Agua:**

Los bananos toleran bien una gran variedad de terrenos; crecen y fructifican en condiciones de bastante pobreza, aunque para que la producción sea económicamente rentable requieren suelos fértiles y húmedos, terrenos profundos, bien drenados, con la capa freática a no menos de dos metros de profundidad; para evitar el anegamiento de las raíces.

El cultivo del Plátano bajo condiciones de riego de inundación, especialmente en las zonas agrícolas de los valles de alto Piura y los valles de los ríos Tumbes y Zarumilla; consume entre 16,000 y 18,000 m<sup>3</sup>/ha. Así como también se está intentando realizar sistema de riego por goteo. (*Caudales de la zona en referencia – Figura 2.3*).

#### **2.2.1.7. Propiedades nutricionales y medicinales**

Son frutos muy nutritivos y con propiedades medicinales por su alto contenido de vitaminas y minerales como hierro, potasio, calcio, sodio, magnesio, silicio, fósforo, azufre y cloro. Se recomienda su consumo a personas ancianas, lactantes y mujeres embarazadas, así como a personas que están débiles, anémicas o desnutridas.

#### **2.2.1.8. Consumo y aplicaciones del fruto**

El plátano o guineo se recomienda comerlo crudo, asado o salcochado, mucho mejor que frito. Se puede acompañar con leche o yogurt y constituye un alimento completo. Con el plátano se elabora una harina alimenticia, muy nutritiva y rica en proteínas y o mejor de todo barata. La cáscara del plátano también se puede comer cocida y luego frita con huevo. Previene el estreñimiento y las hemorroides, excelente para la curación y prevención de las úlceras, reconocido por sus cualidades para hacer descender los niveles peligrosos de colesterol.

#### **2.2.1.9. Producción**

Casi todos los bananos exportados por Perú son orgánicos, representando alrededor del 3% de la producción mundial de banano orgánico. En 2014 la producción ocupó alrededor de 5 500 ha, cerca del 4% de la superficie total de producción de banano. Esta se concentró en las regiones

septentrionales de Piura, Tumbes y Lambayeque, y fue producida principalmente por pequeños propietarios con fincas de menos de tres hectáreas. Desde que el país comenzó la conversión de convencional a orgánico a finales de los años noventa, más del 80% se ha concentrado en el Valle del Chira en Piura. En Perú entre 2010 y 2015, la producción de banano orgánico aumentó en un 94%.

El 5% de los bananos producidos en Perú son exportados por cerca de 7 000 pequeños agricultores. Entre 2014 y 2015, las exportaciones aumentaron un 19%, alcanzando US \$ 143 millones y cerca de 190 000 toneladas. Los bananos peruanos se exportan a 15 países. Los destinos más importantes son Estados Unidos, los Países Bajos, Alemania, Bélgica, Corea del Sur, Finlandia y Japón.

Factores que influyen en el desarrollo de la producción de banano orgánico en Perú:

- Bajos niveles de lluvia en las áreas de cultivo, reduciendo significativamente la inversión en drenaje.
- Baja incidencia de Sigatoka Negra.
- Clima húmedo tropical y condiciones meteorológicas favorables.
- Organización de pequeños agricultores, que se han agrupado creando asociaciones, permitiéndoles ser más competitivos en los mercados internacionales, tener un mejor poder de negociación y mejores precios.
- Un acuerdo arancelario beneficioso entre la UE y América Latina, en vigor desde 2012, ha impulsado las exportaciones globales de banano peruano, aumentando también la producción orgánica.

### **2.2.2. Fermentación.**

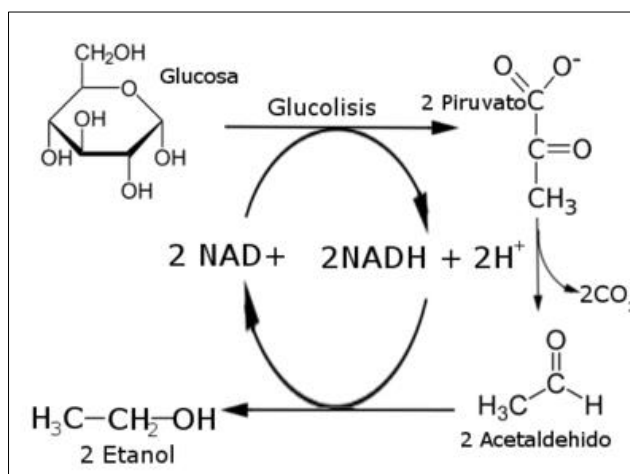
La fermentación se define como el conjunto de reacciones químicas que sufre una sustancia orgánica de origen vegetal libre de nitrógeno, entre ellas están los hidratos de carbono o sus derivados, por

medio de ciertos microorganismos (bacterias, bacilos, levaduras o mohos), y que generalmente van acompañadas de un desprendimiento gaseoso y producción de energía.

Los procesos empleados en la fabricación de Alcohol Eílico por fermentación, dependen de la naturaleza de la materia prima. Las materias sacaroideas requieren por lo general de algún tratamiento o a veces de ninguno, mientras que las materias celulósicas deben ser hidrolizadas a azúcares fermentables antes de que las bacterias actúen sobre ellas. Ésta etapa del proceso se realiza por medio de bacterias fermentativas, levaduras, bacterias ácido lácticas y algunos hongos que se encargan de procesar los hidratos de carbono, en éste caso la fermentación de la glucosa liberada a partir de la celulosa, así como la de los azúcares procedentes de la hemicelulosa que se han liberado durante los pre tratamientos anteriores.

La fermentación más ampliamente conocida es la escisión de glucosa para formar Etanol y CO<sub>2</sub>, en especial predominante en levaduras.

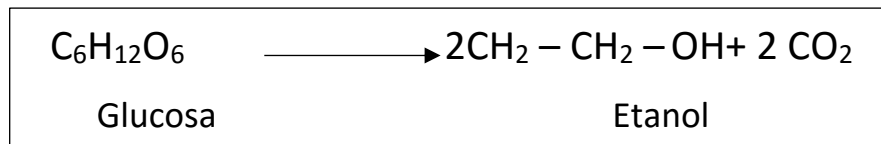
Las levaduras utilizan las mismas reacciones del mecanismo Emben – Meyerhof hallado en animales para producir piruvato. El piruvato es dextricarboxilado en levaduras por una enzima que utiliza pirofosfato de tiamina como coenzima. El derivado hidroximetiltiamina intermedio se descompone para liberar acetaldehído al medio, el cual es entonces reducido por NADH a etanol.



**Figura 2.4. Mecanismo de Fermentación Alcohólica**  
**Fuente: Chambers P. 2010**

Los microorganismos (*Zymomonas mobilis*, *Leuconostoc dextranicum* y *Clostridium thermocellum*) contienen una enzima llamada invertasa, que actúa como catalizador ayudando a transformar los azúcares en glucosa y fructuosa.

La transformación de la glucosa en etanol por acción de microorganismos se produce a través de una completa secuencia de reacciones que pueden resumirse en:



**Figura 2.5. Transformación de glucosa a etanol**  
Fuente: Mas A, 2006

Esta es la fórmula típica de la fermentación alcohólica, la cual fue desarrollada por Gay - Lussac; quien describe la conversión de una molécula de glucosa en dos moléculas de alcohol y dos de dióxido de carbono con producción de 28 calorías, Gay- Lussac obtuvo 23 partes de alcohol, lo cual indica un rendimiento aproximado de 50% de alcohol y 50% de dióxido de carbono. (Subirós, 2000)

### 2.2.3. *Saccharomyces cerevisiae*.

**Cuadro 2.1. Clasificación taxonómica de *Saccharomyces cerevisiae***

TAXONOMIA	
<b>Reino</b>	<i>Fungi</i>
<b>División</b>	<i>Ascomycota</i>
<b>Clase</b>	<i>Hemiascomycetes</i>
<b>Orden</b>	<i>Saccharomycetales</i>
<b>Familia</b>	<i>Saccharomycetaceae</i>
<b>Genero</b>	<i>Saccaromyces</i>
<b>Especie</b>	<i>S.Cerevisiae</i>

Fuente: Hyma K. FEMS Yeast Research, 2011

#### 2.2.3.1. Características generales.

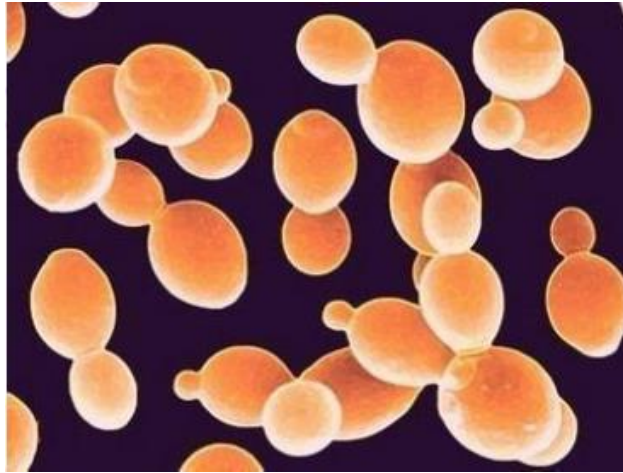
- La levadura *Saccharomyces cerevisiae* es un hongo ascomiceto que ha sido ampliamente estudiado dada su importancia en la industria panadera y vitivinícola, así como por su

capacidad de producir etanol. Filogenéticamente de las cepas de *Saccharomyces cerevisiae* se ha encontrado que la especie en su conjunto consta de dos poblaciones, domésticos y salvaje. (Perafán, 2009).

- Algunas características de esta levadura que forman parte de su adaptación son el hecho de que pueda metabolizar la glucosa y la fructosa tanto por vía respiratoria como por vía fermentativa, y de crecer en condiciones aerobias o anaerobias.
- *Saccharomyces cerevisiae* es la especie de levadura más importante en microbiología del vino. Es mejor modelo industrial conocido por su miembro, la levadura *S. cerevisiae*, pero comprende además ocho especies estrechamente relacionadas. La opinión común coincide en que esta especie es un producto de la domesticación.
- Tiene gran capacidad de crecer en el zumo de uva, que se caracteriza por un alto contenido de azúcares y bajo contenido de sustancias de nitrógeno. La especie produce altas cantidades de etanol a la vez que consume el contenido de azúcares y baja el pH 5 (Jones, 1994) que inhiben el crecimiento de cepas no- *Saccharomyces*.
- Además de poseer el fenómeno *killer*, que implica la secreción, por parte de ciertas cepas, de una proteína tóxica de baja masa molecular, llamada toxina *killer*, a la cual ellas son inmunes, que mata a células sensibles, las cuales pueden ser del mismo o diferentes géneros. Este tipo de interacciones pueden determinar la evolución de las distintas poblaciones de levaduras durante la fermentación. En algunas ocasiones una cepa *killer* de *Saccharomyces cerevisiae* predomina al final del proceso fermentativo, sugiriendo que la expresión de la toxina le permitió conducir parte de la vinificación. Este fenómeno *killer* puede ser un método alternativo para el control de levaduras no deseadas. (Minag, 2009).
- Fermenta glucosa, galactosa, sacarosa, maltosa y no fermenta lactosa. Asimila galactosa, sacarosa, maltosa y rafinosa. La aireación óptima es de 0.6- 0.9 vvm.

### 2.2.3.2. Características microscópicas.

- Talo unicelular, ovalado, redondo, con gemaciones (yemas).
- Se observan redondas y ovoides, elipsoides, a veces cilíndricas y filamentosas.



**Figura 2.6. Vista microscópica de *Saccharomyces cerevisiae*.**  
**Fuente: Tiago V. 2012 92.**

### 2.2.3.3. Características macroscópicas.

- *Sacharomyces cereviciae* es una levadura cuya colonia es de color crema o blanco, apariencia húmeda y brillante, de bordes regulares.
- Sus dimensiones son: 2.5- 10 micras de ancho y 4.5- 21 micras de largo.
- Puede producir ascosporas cuando hay requerimientos nutricionales adecuados.



**Figura 2.7. Vista macroscópica de *Sacharomyces cereviciae* en medio YPG.**  
**Fuente: Cocolin L. 2004 93.**

#### 2.2.3.4. Condiciones de cultivo.

- **Requerimientos nutricionales:**

*Saccharomyces cerevisiae* requiere ciertos nutrientes y condiciones ambientales para su apropiado crecimiento y reproducción. Algunos elementos son básicamente necesarios como por ejemplo carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y fósforo.

El carbono sirve como fuente de energía y como material constitutivo de la masa celular. El nitrógeno se encuentra en la célula formando parte esencial de las proteínas, aminoácidos y ácidos nucleicos; el fósforo se encuentra en los ácidos nucleicos, en la lecitina y en diversos compuestos fosforilados que participan activamente en los procesos de degradación oxidativa y de intercambio energético (ATP, ADP, AMP, NADP). Para que las fuentes de nitrógeno, fosforo y carbono presentes en el sustrato sean aprovechables por la levadura se requiere que se encuentren en forma asimilable.

#### **Condiciones que deben medirse y controlarse durante una fermentación discontinua.**

- Temperatura:** La temperatura óptima de crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae* es de 25 a 30°C. La temperatura afecta el crecimiento de manera notable, principalmente porque los microorganismos de una especie dada solo pueden crecer en un rango restringido de temperaturas, esto afecta de manera importante el crecimiento microbiano.
- pH:** Este parámetro tiene un marcado efecto en la velocidad de crecimiento y el rendimiento. También el pH es óptimo para algunas especies como la de las levaduras que comprende un rango de 4.0 a 6.0. Un cambio en el valor de pH del medio puede afectar su composición y la naturaleza de la superficie microbiana al disociarse ácidos y bases. Este último, puede afectar la floculación de la biomasa o su adhesión al vidrio. El pH tiene una gran influencia en los productos finales del metabolismo anaeróbico.
- Nutrientes:** Un medio de cultivo debe tener todos los elementos necesarios para el crecimiento microbiano, pero es conveniente señalar que las relaciones entre ciertos elementos son de particular importancia. Según investigaciones realizadas, se ha encontrado que en un cultivo para levaduras en melazas la relación carbono/nitrógeno

debe ser 1:1 para que la productividad celular sea máxima. También la relación fósforo/oxígeno es relevante en lo que refiere a la eficiencia de conversión energética y a la respiración.

**d. Aireación:** La ausencia o abundancia de oxígeno permite una selección tanto de microorganismos como de productos del metabolismo. Cuando el cultivo se produce en presencia de oxígeno molecular, la fermentación se denomina aeróbica y cuando éste carece de oxígeno es anaeróbica. Si la fermentación es anaeróbica, la mayor parte del carbono se emplea como energía y sólo el 2% se asimila como material celular. *Saccharomyces cerevisiae* es una levadura que posee alta actividad metabólica, por lo que en un proceso fermentativo en fase aerobia se caracteriza por la producción de biomasa y en fase anaerobia generalmente por la producción de etanol.

**e. Productividad:** La productividad se define como la producción de biomasa por unidad de volumen, por unidad de tiempo del cultivo, dado en concentración de biomasa (g/L) en función del tiempo (h). Esta depende del diseño del fermentador, ya que afecta la transferencia de oxígeno que se ve reflejada en el rendimiento obtenido al final de la fermentación (Quintero, 1981). Un microorganismo adecuado para su utilización industrial debe producir la sustancia de interés, pero hay muchos otros aspectos a considerar. Es preciso disponer del organismo en cultivo axénico (puro), debe ser genéticamente estable, y debe crecer en cultivo a gran escala.

#### **2.2.3.5. Interés de *S. cerevisiae* para la investigación en biología y biotecnología.**

Las levaduras son los microorganismos más utilizados en la producción de etanol por la vía fermentativa, debido a que producen un mejor proceso de separación después de la fermentación, además producen un contenido de toxinas muy inferior a otros microorganismos.

Tal es el caso de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, que bajo condiciones anaerobias reduce el piruvato a etanol con emisiones de CO<sub>2</sub>, obteniéndose un rendimiento estequiométrico teórico de 0,511 g de etanol y 0,489 g de CO, por 1 g de glucosa metabolizada. En realidad es difícil obtener este



rendimiento por que como se mencionó anteriormente la levadura utiliza glucosa para la producción de otros metabolitos indispensables para su crecimiento y desarrollo. El rendimiento experimental varía entre el 90 y el 95 % del teórico, y en la industria varia del 87 al 93 % del teórico. (frazier, 1981). Puesto que gran cantidad de residuos que contienen carbohidratos de precio muy reducido, pueden aprovecharse en la fabricación de etanol; este tipo de fermentación a escala industrial, ha sido usada años atrás por la humanidad para la elaboración de cerveza, vinos y en general bebidas alcohólicas y en la actualidad se le está dando un valor agregado a la producción de etanol para ser utilizado como biocombustible.

La fermentación alcohólica industrial típica es esencialmente un proceso que se produce en un biorreactor, mediante el cual determinados substratos son transformadas mediante la reacción microbiana en etanol, dióxido de carbono y biomasa. Estos contenedores son herméticos y permiten retirar mediante canalizaciones apropiadas el dióxido de carbono resultante. El éxito de una buena fermentación depende de la eficacia del tratamiento preliminar: concentración del azúcar, pH y temperatura óptimos; la adición de sustancias nutritivas al mosto, contaminación por otros microorganismos, empleo de un organismo resistente a altas concentraciones de alcohol, mantenimiento de condiciones anaerobias y la inmediata destilación del producto fermentado.

La fermentación de tipo industrial está enfocada, en aumentar la eficiencia de los biorreactores, con el fin de obtener mejores resultados en cuanto a productos, empleando teorías de control, en las variables que determinan la eficiencia del proceso, como son el calor, la temperatura, contaminaciones, pH, niveles de alcohol, concentraciones del sustrato, biomasa producida entre otras. (ERENIO, 2005)

#### **2.2.4. DESTILACIÓN**

La destilación es la operación de separar las distintas sustancias que componen una mezcla líquida mediante vaporización y condensación selectivas. Dichas sustancias, que pueden ser componentes líquidos, sólidos disueltos en líquidos o gases licuados, se separan aprovechando los diferentes puntos de ebullición de cada una de ellas, ya que el punto de ebullición es una propiedad intensiva de cada sustancia, es decir, no varía en función de la masa o el volumen, aunque sí en función de la presión. (H., 1998)

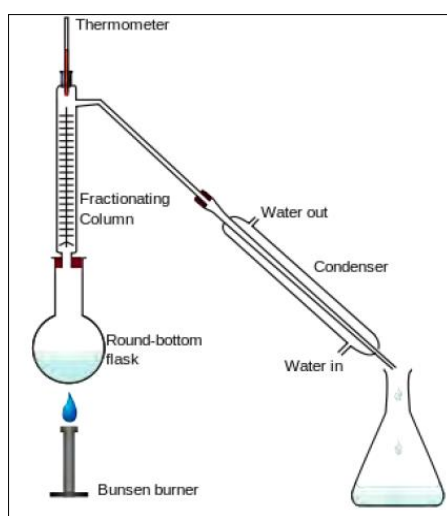
### 2.2.4.1. Destilación Simple

La destilación simple o destilación sencilla es una operación donde los vapores producidos son inmediatamente canalizados hacia un condensador, el cual los enfría (condensación) de modo que el destilado no resulta puro. Su composición será diferente a la composición de los vapores a la presión y temperatura del separador y pueden ser calculadas por la ley de Raoult. En esta operación se pueden separar sustancias con una diferencia entre 100 y 200 grados Celsius, ya que si esta diferencia es menor, se corre el riesgo de crear azeótropos. Al momento de efectuar una destilación simple se debe recordar colocar la entrada de agua por la parte de arriba del refrigerante para que de esta manera se llene por completo. También se utiliza para separar un sólido disuelto en un líquido o 2 líquidos que tengan una diferencia mayor de 50 °C en el punto de ebullición. (H., 1998)

### 2.2.4.2. Destilación Fraccionada

La destilación fraccionada de alcohol etílico es una variante de la destilación simple que se emplea principalmente cuando es necesario separar líquidos con puntos de ebullición cercanos.

La principal diferencia que tiene con la destilación simple es el uso de una columna de fraccionamiento. Ésta permite un mayor contacto entre los vapores que ascienden, junto con el líquido condensado que desciende, por la utilización de diferentes "platos". Esto facilita el intercambio de calor entre los vapores (que lo ceden) y los líquidos (que lo reciben). (H., 1998)



**Figura 2.8. Destilación Fraccionada**  
**Fuente: Escalante (2013)**

### **2.2.4.3. Destilación al Vacío**

La destilación al vacío consiste en generar un vacío parcial por dentro del sistema de destilación para destilar sustancias por debajo de su punto de ebullición normal. Este tipo de destilación se utiliza para purificar sustancias inestables por ejemplo las vitaminas.

Lo importante en esta destilación es que al crear un vacío en el sistema se puede reducir el punto de ebullición de la sustancia casi a la mitad.

En el caso de la industria del petróleo es la operación complementaria de destilación del crudo procesado en la unidad de destilación atmosférica, que no se vaporiza y sale por la parte inferior de la columna de destilación atmosférica. El vaporizado de todo el crudo a la presión atmosférica necesitaría elevar la temperatura por encima del umbral de descomposición química y eso, en esta fase del refino de petróleo, es indeseable.

El residuo atmosférico o crudo reducido procedente del fondo de la columna de destilación atmosférica, se bombea a la unidad de destilación a vacío, se calienta generalmente en un horno a una temperatura inferior a los 400 °C, similar a la temperatura que se alcanza en la fase de destilación atmosférica, y se introduce en la columna de destilación. Esta columna trabaja a vacío, con una presión absoluta de unos 20 mm de Hg, por lo que se vuelve a producir una vaporización de productos por efecto de la disminución de la presión, pudiendo extraerle más productos ligeros sin descomponer su estructura molecular.

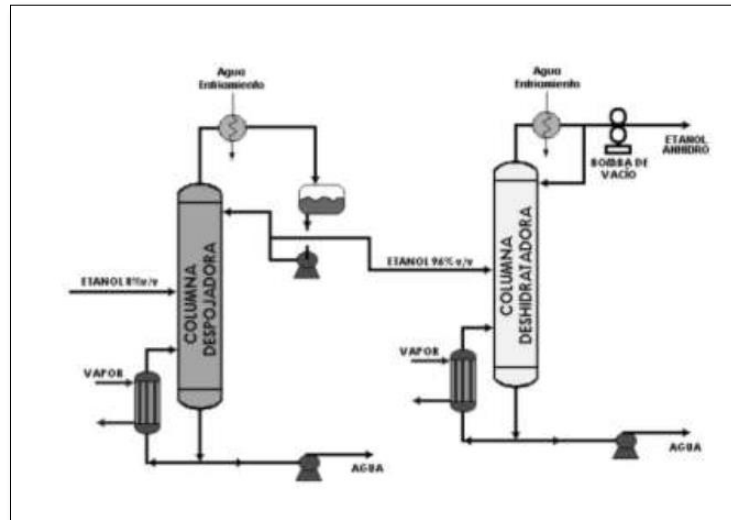
En la unidad de vacío se obtienen solo tres tipos de productos:

- Gas Oil Ligero de vacío (GOL).
- Gas Oil Pesado de vacío (GOP).
- Residuo de vacío.

Los dos primeros, GOL y GOP, se utilizan como alimentación a la unidad de craqueo catalítico después de desulfurarse en una unidad de hidrodesulfuración (HDS).

El producto del fondo, residuo de vacío, se utiliza principalmente para alimentar a unidades de craqueo térmico, donde se vuelven a producir más productos ligeros y el fondo se dedica a producir

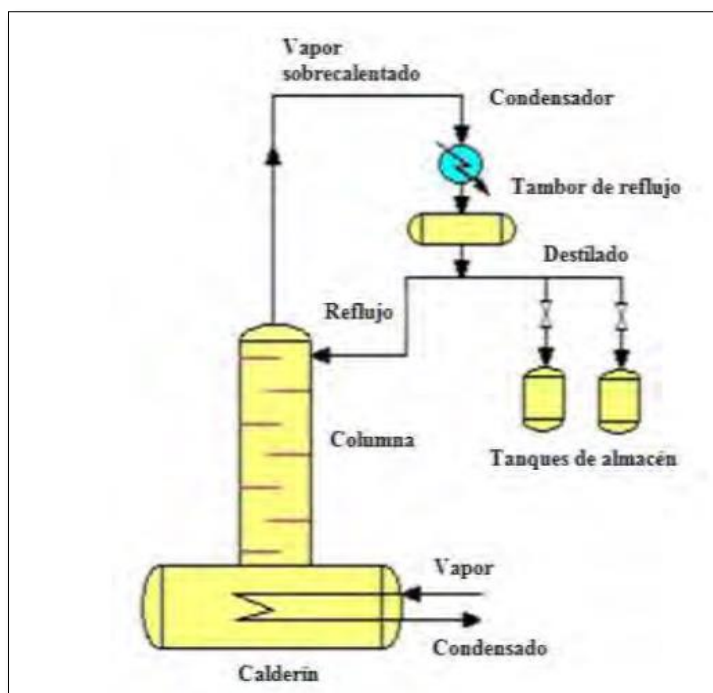
fuel oil, o para alimentar a la unidad de producción decoque. Dependiendo de la naturaleza del crudo el residuo de vacío puede ser materia prima para producir asfaltos. (H., 1998).



**Figura 2.9. Destilación al vacío**  
**Fuente: Escalante (2013)**

#### **2.2.4.4. Rectificación**

La destilación por rectificación es una destilación multietapas, donde se vuelve a destilar el Condensado obtenido de la destilación anterior, de esta forma se obtiene un nuevo destilado con un mayor contenido de componentes más volátiles, aumentándose en cada etapa la pureza del destilado. La destilación se realiza en una columna de destilación en contracorriente, donde la mezcla líquida a separar se lleva al fondo de la columna y se lleva a ebullición, mientras que el vapor generado sube por la columna, sale de ella por la parte superior y se condensa. Parte del condensado se obtiene como producto (destilado), mientras el resto retorna a la parte superior de la columna, y está se denomina reflujo.



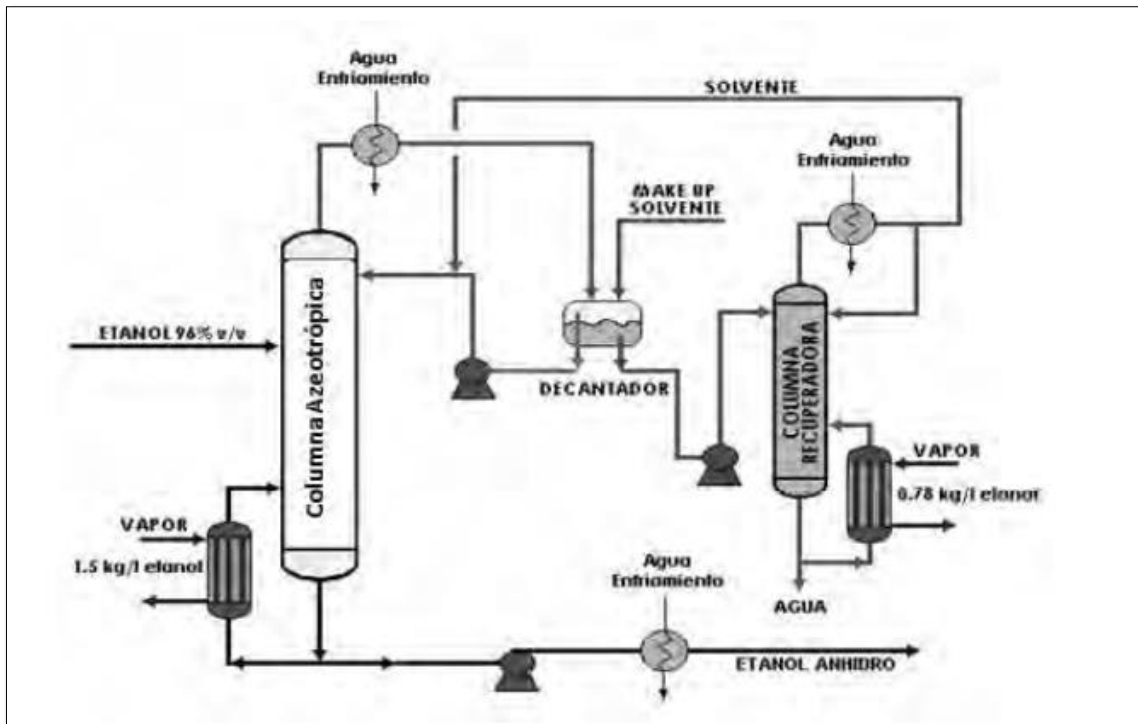
**Figura 2.10. Rectificación**  
Fuente: Escalante (2013)

#### 2.2.4.5. Destilación azeotrópica

Este sistema utiliza tres columnas; la primera es la columna despojadora, la cual concentra la solución alcohólica hasta un punto cercano al azeotrópico; en la segunda columna se añade un disolvente que produce un azeótropo heterogéneo que posteriormente pasa a una decantación y la tercera columna retira el disolvente remanente y lo devuelve a la segunda columna.

El proceso se inicia con la adición de un disolvente o compuesto modificador (benceno o ciclohexano) a la mezcla de alimentación azeotrópica, en la segunda columna de destilación fraccionada, para formar un Azeótropo Ternario Heterogéneo (ATH); luego este ATH se separa como destilado en dicha columna.

Por la parte superior de esta segunda columna se obtiene el etanol anhidro. El ATH es condensado como producto de cabeza y se le decanta para obtener dos fases inmiscibles. La fase orgánica, regresa a la columna azeotrópica como reflujo, mientras la fase acuosa es bombeada a una tercera columna de destilación fraccionada, llamada recuperadora, donde se separa el disolvente o compuesto modificador del agua.



**Figura 2.11. Destilación azeotrópica**  
Fuente: Escalante (2013)

### 2.2.5. Bioetanol´

El bioetanol es una variedad de biocombustible y por lo tanto es de los llamados renovable, a diferencia del petróleo, que es un combustible de tipo fósil. Los biocombustibles “ecológicos” son carburantes que sustituyen en mayor o menor medida el consumo de la “gasolina”.

El uso de los biocombustibles tiene como principal objetivo el rebajar las emisiones de los famosos gases de efecto invernadero. Estos calientan en exceso la superficie de la tierra y provocan un gran aceleramiento del cambio climático.

Por otro lado, es interesante su consumo ya que disminuyen las importaciones de crudo. Cuando usamos el bioetanol contribuimos al impulso de las actividades agrícolas e industriales y aumentamos el grado de autosuficiencia de nuestro país, energéticamente hablando. En España se tenemos la primera empresa que se creó para producir bioetanol a nivel de Europa.

### **2.2.5.1. Obtención del Bioetanol**

El bioetanol es un biocombustible obtenido por la fermentación de la materia orgánica y la biomasa rica en hidratos de carbono (azúcares). Las principales materias primas para producir Bioetanol son cereales, orujo, alimentos ricos en almidón y cultivos de azúcar (por ejemplo, la caña de azúcar).

Dependiendo de la materia prima utilizada para la producción del bioetanol también genera varios subproductos para la industria de la alimentación y la energía. El bioetanol es también conocido por el término de etanol o bioalcohol.

### **2.2.5.2. Utilización del bioetanol**

Bioetanol es un sustituto directo de combustible verde para la gasolina y se caracteriza por un índice de octano alto. Se puede utilizar en la gasolina a 20% sin cambiar el motor o motores utilizados. El bioetanol tiene un valor calorífico inferior al de la gasolina derivada del petróleo.

Se utiliza principalmente para aumentar el octanaje de la gasolina. El bioetanol como combustible es particularmente común en Brasil, donde la mayoría de los vehículos en la carretera lo utilizan todos los días. Las posibilidades energéticas del bioetanol sin embargo no se limitan al sector del transporte, ya que se puede utilizar como combustible para la calefacción y el ámbito doméstico.

El impacto ambiental de bioetanol es un tanto controvertido. Mientras que la combustión de etanol da como resultado una menor emisión de CO<sub>2</sub> en comparación con la gasolina derivada del petróleo, el bioetanol para ser producido implica el consumo de energía.

Hay estudios en curso para determinar el retorno de la energía de inversión (TRE) del bioetanol. Además, al igual que otros biocombustibles de primera generación, pueden tener un impacto en el precio de los productos alimenticios y la deforestación.

### **Ventajas del Bioetanol**

El Bioetanol al ser renovable mejora la seguridad energética de los países, especialmente la de los países no productores de petróleo, ya que tendrían independencia energética.

- Disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub>, porque a pesar de que se utiliza combustibles fósiles para su producción, la cantidad de gas eliminado puede considerarse como la misma cantidad que fue captada por las plantas durante su crecimiento. Es decir, que no supone un incremento de este gas a la atmósfera.
- Al ser el Etanol un oxigenante de la gasolina, hace que ésta mejore su octanaje y que, de esta manera, se reduzcan las emisiones de gases causantes del efecto invernadero.
- El Etanol al mejorar el octanaje de la gasolina ha reemplazado a aditivos nocivos para la salud humana como el plomo y el MTBE.
- Aumenta el valor de los productos agrícolas de los que procede, mejorando así los ingresos de los productores, comunidades y; por tanto, su nivel de vida.

#### **Desventajas del Bioetanol**

- Presenta menor poder calorífico que la gasolina, por lo que requiere un mayor consumo.
- Presenta problemas de corrosión en partes mecánicas y sellos.
- En climas muy fríos presenta dificultades para el encendido.
- Genera emisiones de óxidos de nitrógeno y aldehídos (contaminantes menores).



## 2.3. GLOSARIO

- **Fermentación:** Proceso biológico mediante el cual una sustancia se transforma en otra u otras distintas como consecuencia de la actividad de algunos microorganismos.
- **Fermentación Alcohólica:** (o fermentación etílica) es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire (oxígeno), originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono.
- **Levaduras:** Esta levadura tiene la facultad de crecer en forma anaeróbica realizando la fermentación alcohólica. Por esta razón se emplea en muchos procesos de fermentación industrial, de forma similar a la levadura química, por ejemplo en la producción de cerveza, vino, hidromiel, pan, antibióticos, etc.
- **Bananera:** Se le llama de esta manera a la planta de banano.
- **Bellota:** La bellota es la inflorescencia que emerge del centro de los pseudotallos en posición vertical, semejante a un enorme capullo púrpura o violáceo.
- **Clusters:** Se le llama *cluster* a una agrupación de bananos. El número de frutos en cada *cluster* depende de las exigencias de los clientes y de los mercados.
- **Corona:** Se le llama corona a la parte superior del pedúnculo por el que están unidos un grupo de bananos.
- **Destilación:** Este proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación.
- **Diagrama de flujo:** Diagrama en donde se muestra un conjunto de operaciones y procesos unitarios, en instalaciones y operaciones manuales para conseguir un objetivo.
- **Energía:** Toda causa capaz de transformarse en trabajo mecánico.
- **Energía no renovable:** Es la energía proveniente de combustibles fósiles y nucleares. Aportan el mayor porcentaje para la producción de energía eléctrica mundial, aceleran el efecto invernadero y el cambio climático global.

- **Hijos:** Los hijos o hijuelos son las yemas laterales que se desarrollan a partir de los tallos subterráneos de las plantas de banano. Al desarrollarse forman las nuevas plantas.
- **Mano:** Agrupación de bananos. Se le llama así por la similitud de los bananos a los dedos de una mano.
- **Peciolo:** Es la parte inicial de la hoja que va pegada al pseudotallo y a la nervadura central de la hoja.
- **Pedúnculo:** Se le llama pedúnculo a la rama que sostiene y une un grupo de bananos, con el raquis.
- **Racimo:** Es el brote de frutos que da una planta de banano. Tiene un eje del cual se encuentran sujetos los frutos.
- **Raquis:** Es la parte axial o eje del racimo de bananos.
- **Sigatoka Negra:** enfermedad causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*, afecta generalmente el área foliar de la fotosíntesis de la planta y en consecuencia los racimos.

## **2.4. MARCO REFERENCIAL**

El Banano Orgánico es un producto diferenciado (en relación a los productos convencionales) que se dirige a un nicho específico de mercado. En el Perú, la producción y la exportación de este producto es una actividad reciente. La producción se localiza en la zona norte del país, en las regiones de Tumbes, Piura y Lambayeque, donde existen 3.414 hectáreas certificadas (80% concentradas en Piura). La principal zona de agroexportación de banano orgánico en Piura se ha desarrollado en el valle del Chira.

En esta región existen distintas organizaciones de pequeños productores cuyas parcelas miden en promedio tres hectáreas y que se vinculan a la actividad exportadora (indirectamente) a través de la cadena de banano orgánico. La exportación propiamente dicha está a cargo de instituciones relacionadas con empresas extranjeras.

El objetivo de esta investigación es la obtención de Bioetanol a partir de la Pulpa de Banano no exportable del valle del Chira.

## **2.5. HIPÓTESIS GENERAL**

- Se puede obtener Bioetanol a partir de la pulpa de banano maduro no exportable del valle del Chira.

## **2.6. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- La temperatura de fermentación influye en las cantidades obtenidas de etanol.
- La dilución del mosto influye en las cantidades obtenidas de etanol.
- El índice de madurez del banano influye en la cantidad de etanol que se puede obtener.

### CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

#### 3.1. ENFOQUE Y DISEÑO

Se trata de una investigación de tipo experimental ya que se espera caracterizar el objeto en estudio señalando sus características y propiedades; así mismo, es de tipo comparativo puesto que se establecerá más de un de tratamiento en la investigación y se compararán entre sí, las respuestas a los diferentes tratamientos.

Se aplicó un diseño factorial A\*B (3\*2) teniendo así un total de 6 observaciones. Este tipo de diseño permitió evaluar el efecto individual de cada una de las variables o factores de estudio y determinar su influencia en el comportamiento de diversas variables de respuesta a obtener.

Este diseño permitió evaluar el efecto de interacción de los factores. Las variables, con sus respectivos niveles se presentan en el Cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1. Factores y niveles para el modelo estadístico**

		TEMPERATURA	
		25°C	37°C
Dilución del mosto	1 : 0.5	Y <sub>11</sub>	Y <sub>12</sub>
	1 : 1	Y <sub>21</sub>	Y <sub>22</sub>
	1 : 1.5	Y <sub>31</sub>	Y <sub>32</sub>

**Fuente: Elaboración Propia**

Para estudiar las variables de respuesta o dependientes (pH, acidez, y grados Brix) se trabajó sobre los factores: dilución del mosto 1:0.5; 1:1; 1:1.5 (banano, agua) y temperatura de 25 y 37°C considerándose a estas las más influyentes en el proceso a experimentar.

Para realizar el estudio de datos se realizó un análisis ANOVA. Asimismo se aplicó el diseño de bloques con su respectivo análisis de varianza con un nivel de significancia del 5%.

Además se usaron representaciones graficas en Excel para ilustrar y comparar datos. La formulación de datos fue dada por:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ijk}$$

Donde *Y<sub>ijk</sub>* es la *ijk*-esima observación  $\mu$  es la media global,  $\alpha_i$  es el efecto del factor *A*: dilución,  $\beta_j$  es el efecto del factor *B*: temperatura y  $\epsilon_{ijk}$  el error experimental.

### 3.2. SUJETO DE LA INVESTIGACIÓN

Se utilizó para el estudio de banano orgánico de descarte proveniente de la Asociación de Pequeños Productores de Banano Orgánico del valle del Chira, el cual se tomó de forma aleatoria de un lote de descarte semanal, además se sometió a maduración para que se hallase en las condiciones que el método utilizado lo requería, la cantidad usada dependía de las réplicas y muestras.

### 3.3. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

#### 3.3.1. Lugar de ejecución

La recolección de las muestras utilizadas se realizó en el almacén de la Asociación de Pequeños Productores de Banano Orgánico de Querecotillo.

La parte experimental de esta investigación se realizó en las instalaciones del laboratorio de la escuela de Ingeniería Agroindustrial, de la universidad Nacional de Piura.

### **3.3.2. Materiales**

- Mesas de trabajo.
- Tablas de picar.
- Cuchillos de acero inoxidable.
- Recipientes plásticos.
- Pipeta de 10 ml y propipeta
- Vasos de precipitado BOECO GIARDINO 250 ml, 500ml y 1 L.
- Matraz Erlenmeyer de 250 y 500 ml.
- Picetas para agua destilada.
- Probeta 10 ml.
- Organza de tela.
- Coladera de acero inoxidable.

### **3.3.3. Equipos**

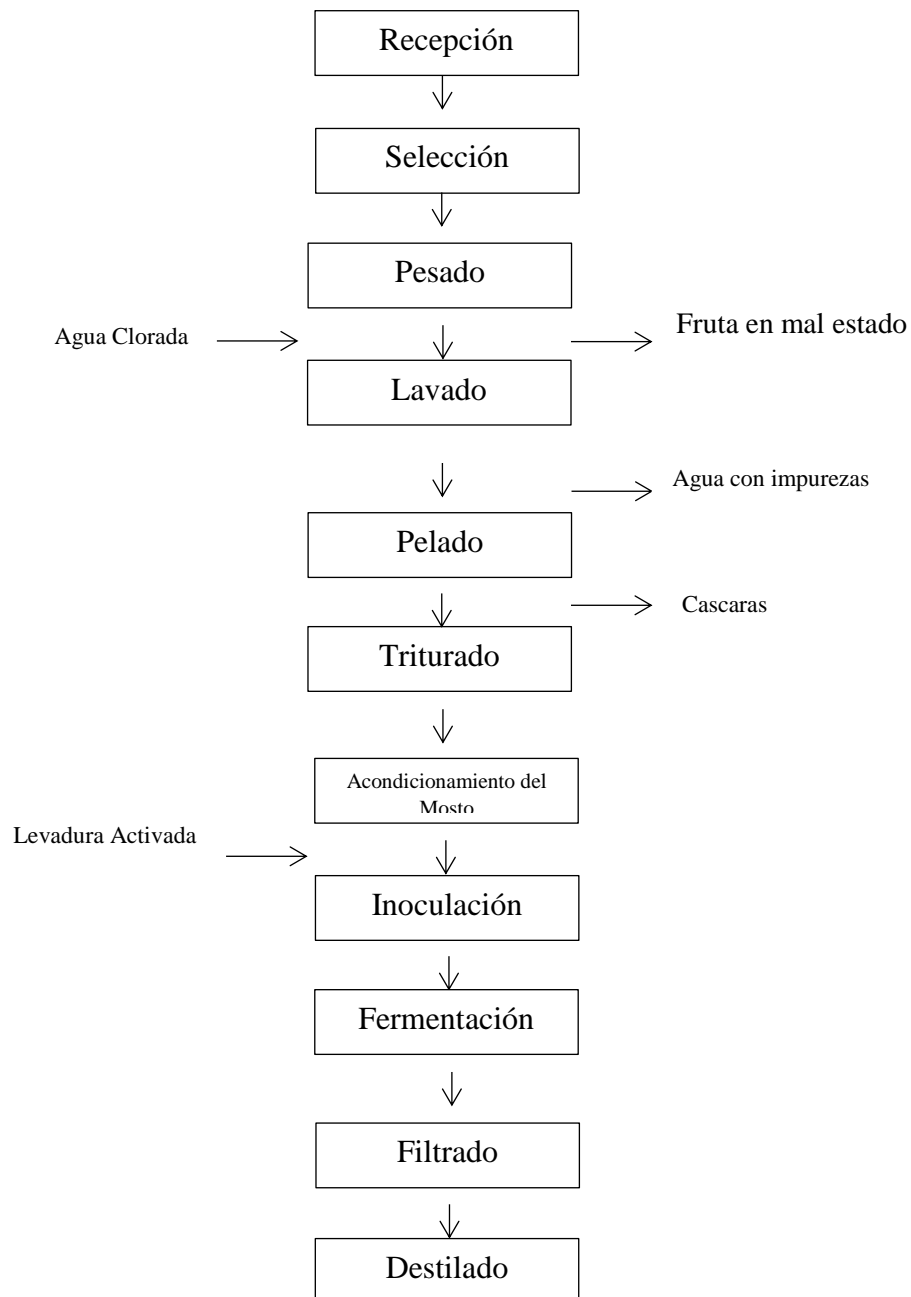
- Balanza electrónica CAMRY EB9068, capacidad: 150kg.
- Balanza analítica AND HR-250AZ, capacidad de 252 g con sensibilidad de 0.1 mg.
- Licuadora OSTER.
- Equipo de titulación (Bureta y soporte de bureta).
- Refractómetro ATAGO N-1EBX.
- Alcoholímetro.
- Termómetro 0 – 100°C.
- Cocina eléctrica Capitol Rangette.
- Equipo de destilación.

### **3.3.4. Reactivos**

- Fenolftaleína.
- Solución de hidróxido de sodio NaOH 0.1N.
- Agua destilada.

### 3.3.5. Diagrama de flujo del proceso

Para obtener el bioetanol se siguió el procedimiento propuesto que se encuentra detallado de forma general a continuación:



**Figura 3.1. Flujograma propuesto para la elaboración de bioetanol  
Elaboración Propia**

### **3.3.6. Procedimiento**

#### **3.3.6.1. Recolección**

La materia prima fue recolectada de los almacenes de producto terminado de la Asociación de pequeños productores de banano orgánico (APOQ), en el distrito de Querecotillo, Sullana.

#### **3.3.6.2. Maduración**

Se dejó madurar la fruta a 22° Brix, aun estando firme y sin indicios de pudrición.

#### **3.3.6.3. Pesado**

Terminado el proceso de maduración y teniendo los parámetros esperados para iniciar el proceso; la fruta se colocó en la balanza para determinar los pesos y sus rendimientos a lo largo del proceso.

#### **3.3.6.4. Selección y lavado**

La fruta apta para el proceso debe tener una apariencia fresca, estar sana y en buen estado, es decir libre de deterioro, podredumbre y fermentación; asimismo estar exenta de plagas. Se realiza una selección de la fruta, descartando la que no cumple las condiciones para considerarse apta.

Se lava la fruta con agua clorada para retirar la tierra, impurezas, partículas extrañas y otros materiales que pudieran ser fuente de contaminación.

Lavar los productos agrícolas frescos con agua potable tratada con un agente desinfectante puede reducir los microorganismos y patógenos que podrían encontrarse en la superficie de dichos productos (LSU, 2017).

El método más económico para el lavado es el tratamiento químico con cloro y sus derivados, cuyo propósito es destruir las bacterias y hongos presentes en el agua, así como las transportadas sobre la superficie del fruto (FAO, 2003).

Se utilizó una concentración aproximada de hipoclorito de sodio de 100 a 200 ppm en una solución de agua potable, esta dilución es utilizada para las operaciones de lavado de productos vegetales (FAO, 2003).



### 3.3.6.5. Preparación y acondicionamiento del mosto

- a. Extraer la cascara de la fruta, cortar las unidades, colocar la pulpa en una licuadora y empezar la trituración.
- b. Se realizaron las diluciones de la pulpa de fruta con agua de mesa según las relaciones propuestas para tres tratamientos diferentes, siendo estas de 1:0.5, 1:1 y 1:1.5. L plátano/L agua (L: Litros del medio).
- c. Se analizaron los factores de concentración de azúcares, acidez del medio y pH.
- d. La temperatura para preparar el inóculo fue 32°C, a una concentración de 1 g/l.
- e. Los parámetros utilizados fueron los siguientes:

**pH:** la levadura trabaja adecuadamente a pH entre 3 y 6, siendo lo ideal 5°C, de acuerdo con Font, ya que cuanto más bajo es el pH, tanto menor es la posibilidad de que el mosto se altere, según Castillo (2004). Font, menciona a Houghton al decir que las levaduras del género *Saccharomyces*, realizan fermentaciones de glucosa en un ámbito amplio de pH, entre 3, 6 y 8, por lo que este factor no significa ningún problema para el caso en estudio. (Font 2000).

**Temperatura:** para mantener la fermentación la temperatura óptima está entre 22°C y 27°C según Alzate. (Alzate, 1988).

- f. Temperatura y tiempo de pasteurización del mosto: 72°C por 2 minutos de acuerdo con Carbonell (1970).

### 3.3.6.6. Procedimiento de fermentación

En esta etapa se adiciono la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) previamente activada, se usó como factor común una dosis de 1 gramo de levadura por cada litro de mosto. El medio preparado se colocó en un recipiente plástico estéril con trampa de agua. Fueron seis tratamientos cuyos recipientes se sellaron con una obertura de 1cm para la salida de CO<sub>2</sub>, de las cuales se extrajeron las muestras para los análisis fisicoquímicos correspondientes.

La fermentación culminó a los 4 y 5 días de iniciada para todos los tratamientos.

### **3.3.6.7. Destilación**

El mosto fermentado se filtró para separar sólidos; para la destilación se usa el método de arrastre de vapor, dado que el etanol tiene un punto de ebullición menor (78,3°C) que el agua (100°C), la mezcla se calienta hasta que el alcohol se evapore y se pueda separar por condensación de este. (Martínez, A. Lopera, L. 2003).

Identificación del producto: luego de recoger el destilado, se le midió el volumen y se calculó el % de bioetanol obtenido.

### **3.3.6.8. Determinación de la presencia de etanol**

Finalizada la destilación del mosto se procedió a determinar la presencia de etanol; esto se realizó mediante la prueba cualitativa del dicromato de potasio. Se añadió 1ml del destilado en un tubo de ensayo y se adiciono 3ml de solución sulfocrómica previamente preparada (**Véase en el Anexo N°1**), y 2ml de una solución de carbonato de potasio saturado (1g/ml). Finalmente se encubo en baño maría a 100°C durante 15 minutos. Se apreció la coloración, producto de la reacción entre el etanol y el dicromato de potasio en condiciones especiales.

Finalizado el tiempo de incubación se observó la presencia de color verde en el tubo de ensayo, diferenciándose entre cada sistema, producto de la reacción óxido- reducción del etanol y el dicromato de potasio. Esta coloración coincide con los resultados obtenidos por Ramos y Martínez el 2011, donde indican que el viraje del color de la solución sulfocrómica de amarillo a verde, indica la presencia de un agente reductor, como lo es el etanol.

Véase imágenes en el **Anexo N°2**

### **3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

#### **3.4.1. Análisis fisicoquímicos para la materia prima**

- Determinación de °Brix: Método refractométrico (Serna y López, 2010)
- Determinación de pH: Método potenciométrico (Gonzales, 2012)
- Determinación de acidez total: Por titulación (Serna y López, 2010)

#### **3.4.2. Análisis fisicoquímicos para el Mosto previo a la destilación**

- Determinación de °Brix: Método refractométrico (Serna y López, 2010)
- Determinación de pH: Método potenciométrico (Gonzales, 2012)
- Determinación de acidez total: Por titulación (Serna y López, 2010)

#### **3.4.3. Para el producto final**

- Determinación de grado alcohólico: Método del alcoholómetro (Serna y López, 2010)
- Determinación de presencia de etanol mediante la prueba cualitativa del dicromato de potasio

### **3.5. ASPECTOS ETICOS**

- El trato con las personas que coadyuvaron con nuestra investigación estuvo basado en el respeto y la consideración, la participación de cada uno de los antes mencionados fue de manera voluntaria y desinteresada.
- Nuestra tesis se basa en la investigación y experimentación realizada por nosotras respetando los parámetros brindados por la universidad, de originalidad, además de ser guiados por el formato propuesto por la misma.
- La presente investigación, fue realizada respetando las leyes de derecho de autor de modo que las referencias bibliográficas usadas están totalmente referenciadas dando crédito a cada a uno.

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. ANALISIS DE RESULTADOS

#### 4.1.1. Antes de la fermentación

Se analizaron parámetros fisicoquímicos de °Brix, pH y acidez de la muestra de la fruta para determinar las condiciones iniciales que presenta. Estos resultados se encuentran detallados en el Cuadro 4.1.

**Cuadro 4.1. Resultados físico-químicos de la muestra en la fruta**

Muestra	°Brix	pH	% acidez	Índice de madurez
Banano	22	4.03	0.29	61.64

**Fuente: Propia**

##### 4.1.1.1. En el Banano

El banano que se utilizó para obtener la pulpa pertenecía a la categoría II según el **Codex Stan 205 - 1997**, los bananos tienen defectos de forma y color, además defectos de la cáscara debido a raspaduras, costras, rozaduras, manchas u otros defectos superficiales que no superen 4 cm<sup>2</sup> de la superficie total; en ningún caso los defectos deberán afectar a la pulpa del fruto.

Los grados Brix que presenta la pulpa del banano en esta experimentación fueron altos con respecto a lo mencionado por Zapata y Peláez quienes indican que para obtener bioetanol a partir del banano la concentración de azúcares debe estar entre 16 ° - 20° de Brix. (Zapata Ana María y Peláez Carlos 2010).

En el caso del banano, la temperatura juega un papel muy importante ya que para mantener sus características físico químicas debe estar almacenado a una Temperatura de pulpa entre 18 y 20 °C. Humedad relativa ambiente del 95 al 98%. (Hugo O. Lauro 2004).

**Cuadro 4.2. Propiedades químico físicas para diferentes estados de madurez (EM) del banano.**

Fruta	EM	pH	Acidez titulable (gr/100ml)	Sólidos solubles (brix)	Índice de madurez
Banano	1	5.62±0.11	0.13±0.02	1.11±0.38	8.61±2.21
	2	5.45±0.12	0.17±0.01	6.00±0.67	34.57±2.16
	3	5.23±0.08	0.19±0.01	11.56±0.77	59.76±0.42
	4	5.05±0.09	0.22±0.01	14.22±0.77	63.68±0.17
	5	4.93±0.03	0.25±0.00	16.00±0.00	64.00±0.00
	6	4.46±0.04	0.28±0.01	18.22±0.77	64.32±0.11
	7	4.29±0.02	0.28±0.02	20.67±1.34	64.58±0.14

**Fuente:** Ramiro Torres *et al* (2013).

Para la acidez de la muestra de banano, esta se encontró en 0.29 gr ác. Cítrico/L, para un estado de madurez en grado 7 (0.28±0.02), lo que coincide con lo reportado por Giraldo *et al* (2000).

Los parámetros fisicoquímicos en la muestra de la pulpa de banano obtenido, demuestran que esta se encuentra en un estado óptimo. Así mismo durante la experimentación quedó demostrado que al empezar la senescencia de la fruta del banano, este empieza a disminuir la cantidad de azúcares totales aumentando así la acidez titulable.

Los mercados internacionales son muy exigentes en el tema del empaque de la fruta por ello los agricultores de pequeñas asaciones de banano orgánico cumplen con rigurosos procesos y prácticas de empaque que aseguren la calidad de banano y la comercialización al país de destino. (Agriculturers 2019).

Las condiciones del banano no limitan ni la hacen poco viable en el momento de poder ingresar al proceso fermentativo ya a que si bien la madurez está muy elevada, aún conserva todas las características para la obtención de etanol, siendo el Brix uno de los factores determinantes.

#### **4.1.2. De los tratamientos**

Se procedió a elaborar cada uno de los tratamientos, para esto se formuló de acuerdo a los factores y niveles mencionadas en el Cuadro 4.3.

**Cuadro 4.3. Formulaciones experimentales de tratamientos**

<b>Tratamiento Parámetros</b>	<b>Y11</b>	<b>Y12</b>	<b>Y21</b>	<b>Y22</b>	<b>Y31</b>	<b>Y32</b>
% de dilución (Plátano/agua)	66.7% 33.3%	66.7% 33.3%	50.0% 50.0%	50.0% 50.0%	28.6% 71.4 %	28.6% 71.4%
°Brix inicial	14	14	10	10	8	8
pH inicial	5.0	5.0	5.3	5.3	5.8	5.8
% acidez total Inicial (gr ac. Málico/100ml)	0.20	0.20	0.18	0.18	0.16	0.16

**Elaboración propia**

#### **4.1.3. Durante el proceso de Fermentación**

Antes de la inoculación de la levadura, se pasteurizo el mosto, para evitar el crecimiento de otras cepas que puedan ser competencia; después se procedió a inocular la levadura *Saccharomyces Cerevisiae*, para dar inicio a la fermentación.

En el Cuadro 4.4 se muestran los valores obtenidos al final del proceso fermentativo en los tratamientos, tales como el tiempo, sólidos solubles (°Brix), pH, acidez (g ác. cítrico/100ml).

**Cuadro 4.4. Respuestas experimentales de las observaciones al finalizar la fermentación**

<b>Tratamientos Parámetros</b>	<b>Y<sub>11</sub></b>	<b>Y<sub>12</sub></b>	<b>Y<sub>21</sub></b>	<b>Y<sub>22</sub></b>	<b>Y<sub>31</sub></b>	<b>Y<sub>32</sub></b>
Tiempo (días)	4	5	4	5	4	5
°Brix final	5	5	4	3	2.5	2
pH final	5.6	5.5	5.8	5.8	5.9	6.1
% Acidez Total final	0.13	0.13	0.14	0.12	0.1	0.09

**Elaboración propia**

#### **4.1.3.1. El Tiempo y Temperatura**

Según López el transcurso de tiempo necesario para este proceso fermentativo es variable y puede darse por terminado en 4 a 7 días, o bien puede durar hasta dos semanas. (López 2007)

La fermentación de los mostos hasta que se detuvo el proceso fue de 4 días para la fermentación a 25°C y 5 días para el tratamiento a 37°C.

Habiéndose tomado 2 temperaturas para los tratamientos tomando como referencia para la elección de una de ellas, que la temperatura optima de crecimiento para *Saccharomyce Cerevisiae* está en torno a los 25°C. (Guillamon. 2003). A esta temperatura la levadura tuvo mejor desempeño que en el tratamiento a 37°C (temperatura ambiente).

Coronel concluye que las condiciones iniciales del mosto definen el tiempo probable de fermentación. Coronel (2008). Es probable que al no ajustar todos los parámetros del mosto, el tiempo de la fermentación no fuera óptimo.

#### **4.1.3.2. Grados Brix**

En las primeras 24 horas de la fermentación el decrecimiento de los grados Brix fue significativo; ralentizándose hacia el final del proceso, reduciéndose el mayor porcentaje de azúcar en las primeras horas, esta característica fue notable en todos los tratamientos.

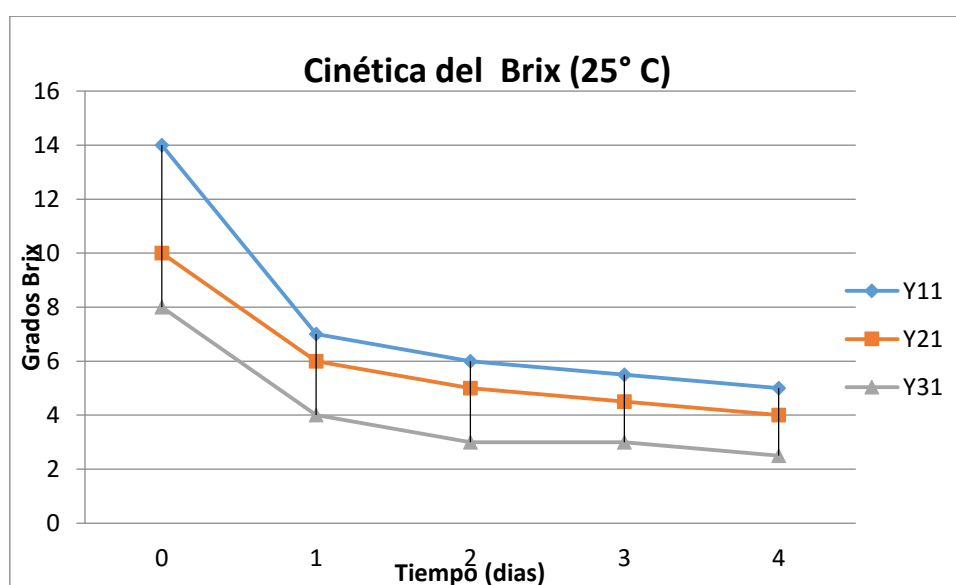
Según Blanco, las primeras 24 horas en la fermentación de un mosto corresponden a la fase de adaptación, latencia o fase lag del crecimiento celular de una levadura, este tiempo es de adaptación al medio antes de iniciar el ciclo celular, luego comienza el crecimiento exponencialmente, Blanco (2016); Sin embargo, el comportamiento en esta fermentación coincide con lo dicho por García. La levadura *Saccharomyce cerevisiae*, crece simultáneamente con la producción de alcohol por espacio de unas 20 horas. La velocidad de fermentación aumenta de forma rápida hasta alcanzar el máximo al término de las 15 horas. (García J. *et al* 2000). La producción continúa entonces a una velocidad decreciente.

El rendimiento de alcohol dependerá del contenido de azúcar de la fruta, ya que no se adicionara azúcar para algún ajuste en los grados Brix.

**Cuadro 4.5. Cinética del ° Brix en la fermentación a 25 ° C**

Grados Brix - Tratamiento a 25°C			
	Y11	Y21	Y31
0	14	10	8
1	7	6	4
2	6	5	3
3	5.5	4.5	3
4	5	4	2.5

Elaboración propia



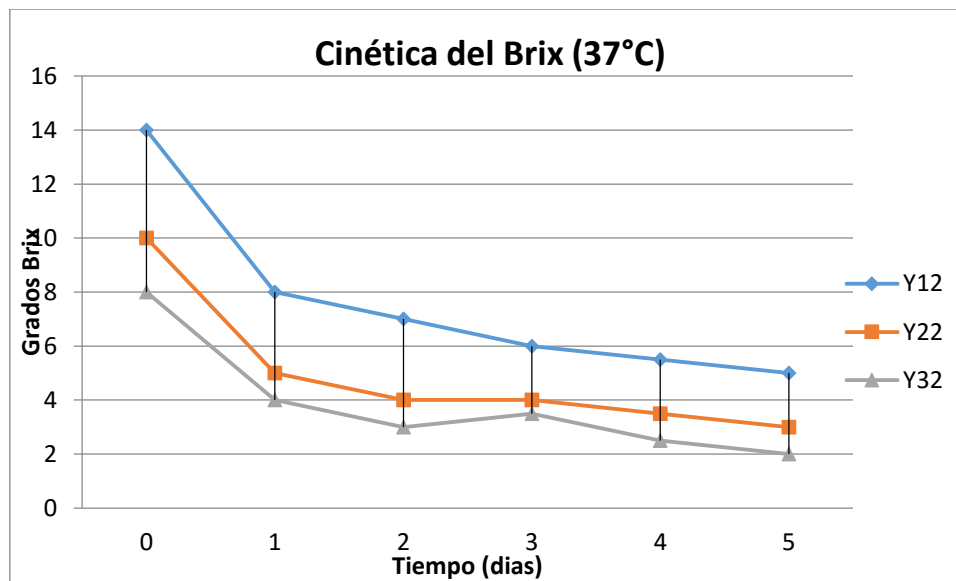
**Fig. 4.1. Cinética del ° Brix en la fermentación a 25 ° C**  
Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.6. Cinética del ° Brix en la fermentación a 37 ° C**

Grados Brix - Tratamiento a 37°C			
	Y12	Y22	Y32
0	14	10	8
1	8	5	4
2	7	4	3
3	6	4	3.5
4	5.5	3.5	2.5
5	5	3	2

Fuente: Elaboración propia





**Fig. 4.2. Cinética del ° Brix en la fermentación a 37°C**  
**Fuente: Elaboración propia**

#### 4.1.3.3. pH

Este parámetro influye positivamente cuando está en el rango 3.5 a 5.5. Al ser ácido- tolerantes, las levaduras pueden desarrollarse perfectamente en valores de pH bajos, lo que no pueden hacer otros microorganismos, en especial las bacterias. Ello les otorga una ventaja competitiva ante la acción protectora antiséptica que ejerce el pH sobre el medio. (Gonzales 2000)

Al encontrarse en un pH óptimo para la fermentación en el medio, y al producirse el consumo de azúcares, el pH disminuye por la producción de glicerol y ácidos orgánicos (Galvis, 2009).

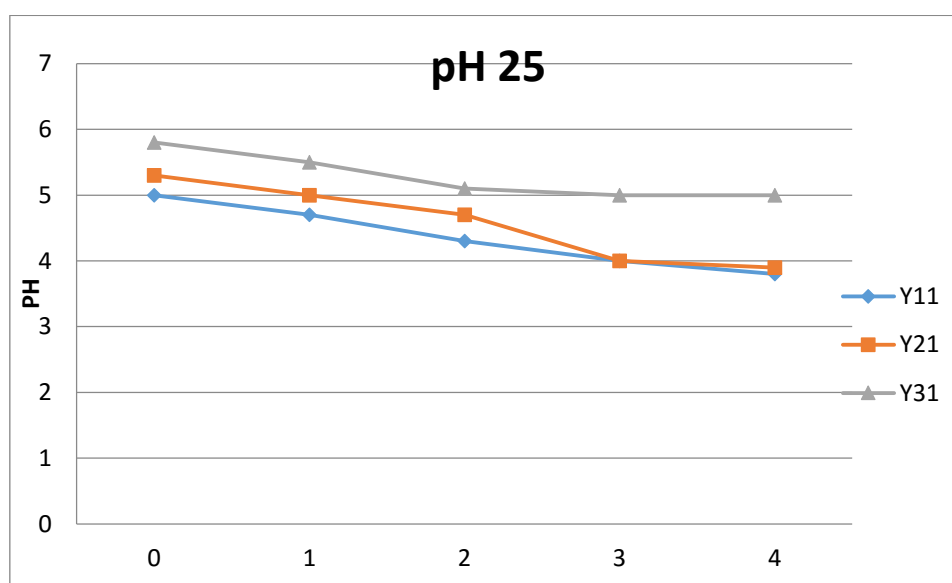
Galvis y Oberoi en sus respectivas investigaciones encontraron que la mayor producción del volumen de Etanol se obtiene en pH 5 dentro de las primeras 24 horas de haber iniciado la fermentación (Galvis, 2009). (Oberoi *et al* 2011)

El pH presenta una disminución progresiva a través del tiempo debido al incremento del ácido málico. Los valores del pH disminuyen durante el proceso de maduración del fruto desde el estado verde hasta la óptima maduración debido a la mayor participación del ácido málico. (Quiceno, M., Giraldo, G., y Villamizar, R. 2014).

**Cuadro 4.7. Cinética del pH en la fermentación a 25°C**

pH- Tratamiento a 25C			
	Y11	Y21	Y31
<b>0</b>	5	5.3	5.8
<b>1</b>	4.7	5	5.5
<b>2</b>	4.3	4.7	5.1
<b>3</b>	4	4	5
<b>4</b>	3.8	3.9	5

Fuente: Elaboración propia



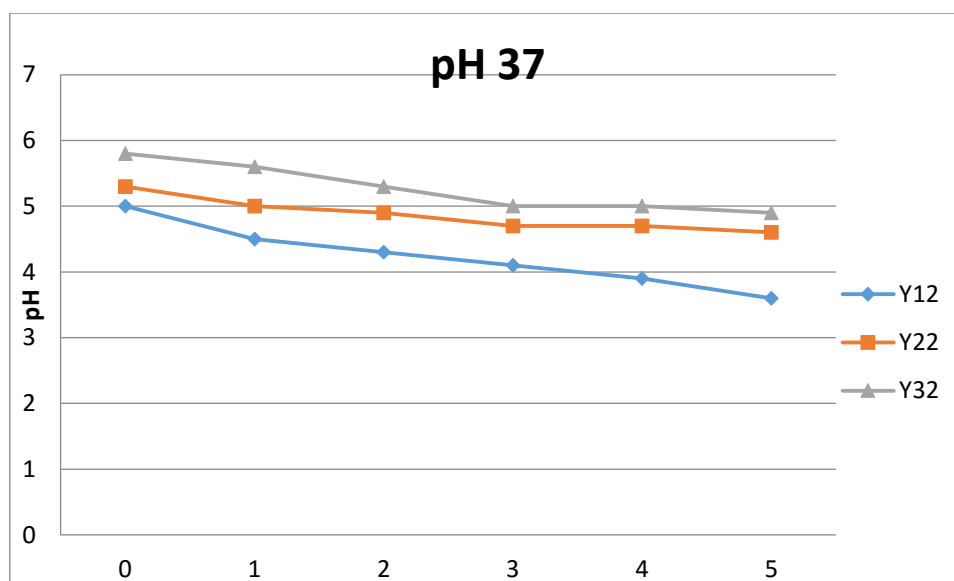
**Fig. 4.3. Cinética del pH en la fermentación a 25 ° C**

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.8. Cinética del pH en la fermentación a 37°C**

pH - Tratamiento a 37C			
	Y12	Y22	Y32
<b>0</b>	5	5.3	5.8
<b>1</b>	4.5	5	5.6
<b>2</b>	4.3	4.9	5.3
<b>3</b>	4.1	4.7	5
<b>4</b>	3.9	4.7	5
<b>5</b>	3.6	4.6	4.9

Fuente: Elaboración propia



**Fig. 4.4. Cinética del pH en la fermentación a 37 ° C**  
**Fuente: Elaboración propia**

#### 4.1.3.4. Acidez

Se puede observar en los cuadros 4.8 y 4.10 que conforme pasan los días la acidez disminuye, y una vez completada la fermentación se hace constante.

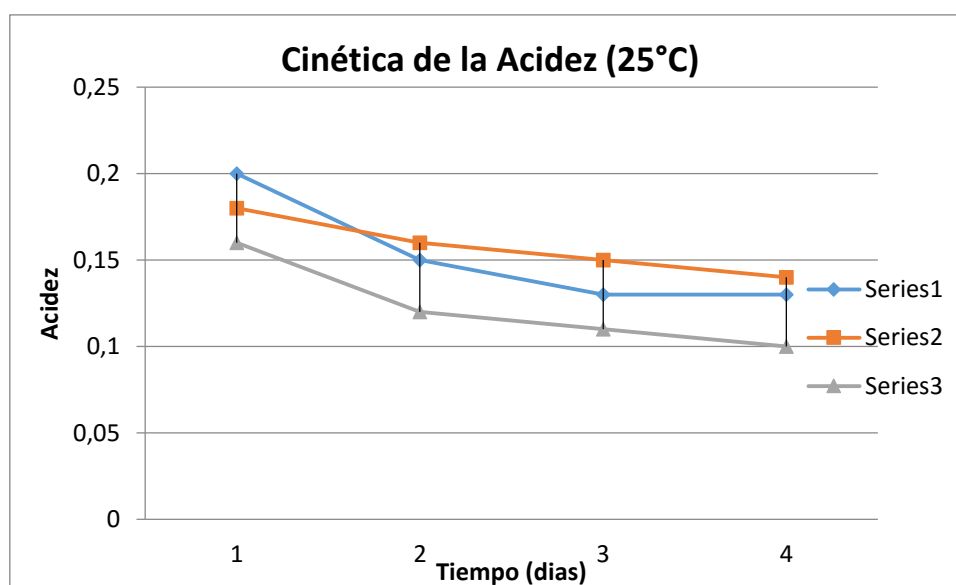
Según Javier de Lucas Las levaduras hacen fermentar mejor los azúcares en un medio neutro o poco ácido. Cuando una fermentación se detiene no se debe a una falta de acidez, sino aun exceso de temperatura que asfixia las levaduras. Sin embargo, una acidez débil puede convertir en muy graves las consecuencias de esta detención, pues las bacterias de enfermedades se desarrollan más fácilmente cuanto mayor es la acidez. La acidez debe ser tal que no favorezca el desarrollo de las levaduras, pero que perjudique a las bacterias peligrosas en caso de cese la fermentación. (Lucas 1994).

Al término de la fermentación, al producirse etanol como resultado de la acción de las levaduras en los azúcares este diluye los ácidos orgánicos, el ácido málico disminuye en concentración al elevarse la concentración de etanol en el medio, deduciéndose esto en una disminución ligera de acidez.

**Cuadro 4.9. Acidez Final en los tratamientos a 25°C**

TRATAMIENTOS	TIEMPO(DIAS)			
	1	2	3	4
<b>Y11</b>	0.2	0.15	0.13	0.13
<b>Y21</b>	0.18	0.16	0.15	0.14
<b>Y31</b>	0.16	0.12	0.11	0.1

Fuente: Elaboración propia



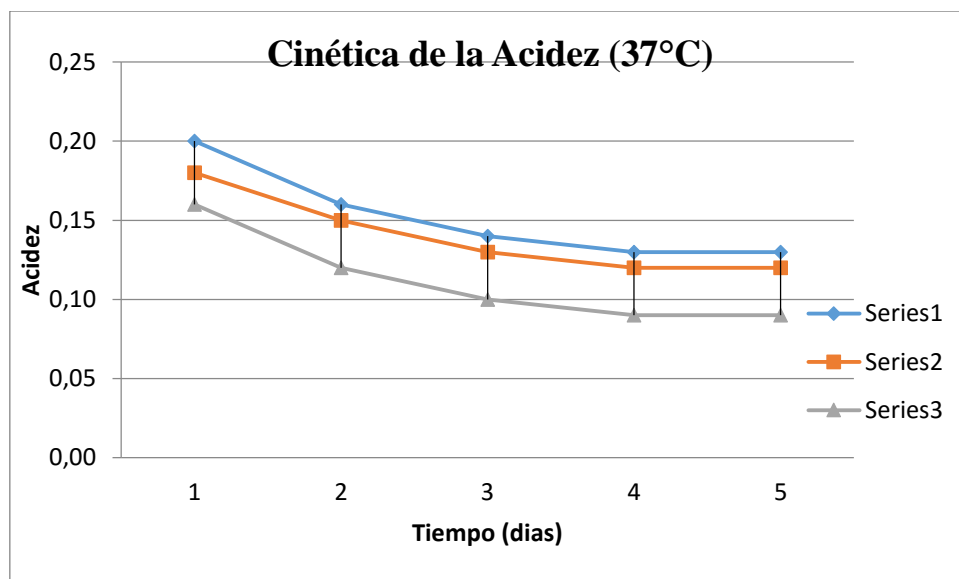
**Fig. 4.5. Acidez final en tratamientos a 25°C**

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.10. Acidez Final en los tratamientos a 37°C**

TIEMPO (días)	Y12	Y22	Y32
<b>1</b>	0.20	0.18	0.16
<b>2</b>	0.16	0.15	0.12
<b>3</b>	0.14	0.13	0.10
<b>4</b>	0.13	0.12	0.09
<b>5</b>	0.13	0.12	0.09

Fuente: Elaboración propia



**Fig. 4.6. Acidez final en tratamientos a 37°C**  
**Fuente: Elaboración propia**

#### 4.1.4. Rendimientos

##### 4.1.4.1. En la Materia Prima

Según FLP SAC, después del proceso de maduración del banano verde no exportable en 3 días existe una merma del 2-4% de su peso inicial.

Una vez madurado para la etapa experimental descartamos un 33%, que corresponde a la cascara del banano que no será utilizada para la obtención del bioetanol. El 67% restante se usa totalmente en la elaboración de etanol.

##### 4.1.4.2. En el Producto Final

**Cuadro 4.11. Volumen de alcohol obtenido (ml)**

		TEMPERATURA	
		25°C	37°C
Dilución del mosto	1 : 0.5	82 ml	80 ml
	1 : 1	78 ml	79 ml
	1 : 1.5	84 ml	85 ml

**Elaboración propia**

Los rendimientos de los tratamientos que pasaron por el proceso de fermentación se muestran en el Cuadro 4.11.

Transcurridos los 4 días de fermentación en las muestras a 25°, por lo consiguiente 5 días en las muestras a 37°, se procede a la destilación de las soluciones previamente filtrada mediante el uso de holganza. La destilación de una muestra de 1.5 Kg de banano tuvo una duración de 45 minutos, obteniéndose en promedio 78 ml de destilado con una concentración de 30% de pureza en alcohol.

Se esperaba que a mayor concentración de azúcar de la dilución, la cantidad de etanol también fuera mayor sin embargo los resultados fueron aleatorias por lo que podemos afirmar que no hay un efecto significativo si se varia la cantidad de azúcar.

Se consiguió un destilado del 30% de pureza en un rendimiento de 0.054 ml de etanol/g de sustrato.

**Véase en el Anexo N°3**

## 4.2. ANALISIS ESTADISTICO

### 4.1.1. Varianza en los Grados Brix finales

Para la evaluación de la influencia de los factores (°Brix y dilución) sobre el °Brix final, se aplicó el análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo, que permitió determinar qué factores tienen efecto significativo. A continuación, se observa en los Cuadros 4.12 que detalla las respuestas experimentales que entraron en el análisis.

**Cuadro 4.12. °Brix finales de los tratamientos**

		TEMPERATURA	
		25°C	37°C
Destilado del mosto	1 : 0.5	5	5
	1 : 1	4	3
	1 : 1.5	2.5	2

**Elaboración propia**

Los resultados del análisis estadístico realizado, análisis de varianza para el brix final con los efectos significativos de los factores e interacciones entre ellos. Estos se muestran en el cuadro 4.13 y 4.14.

**Cuadro 4.13. Análisis de Varianza para °Brix Finales a 25°C**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Dias	93	4	23.25	34.4444444	4.33578E-05	3.83785335
Diluciones	28.9333333	2	14.4666667	21.4320988	0.000611943	4.45897011
Error	5.4	8	0.675			
Total	127.333333	14				

**Elaboración propia**

**Cuadro 4.14. Análisis de Varianza para °Brix Finales a 37°C**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	de Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Días	9.433333333	4	2.358333333	17.688	0.000489233	3.83785335
Dilución	29.1	2	14.55	109.13	1.56317E-06	4.45897011
Error	1.066666667	8	0.133333333			
Total	39.6	14				

**Elaboración propia**

$$F_{4,8; 0,05} = 3,83$$

$$F_{2,8; 0,05} = 4,45$$

Se puede observar en la tabla resultante que en ambos factores estudiados (días y dilución) y la interacción entre los mismos existe un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ) sobre la variable dependiente (brix finales). Esto se relaciona directamente con las observaciones que se encontraron para cada factor, las respuestas de cada uno de los tratamientos son diferentes para cada uno de ellos.

El valor de la media de cuadrados de cada factor dividido entre el valor de la media de cuadrados de los residuos, denominada esta como Razón-F, cuanto mayor sea será mayor la probabilidad de que el experimento sea significativo, en el análisis del ANOVA se tendría una probabilidad muy fuerte de significancia al nivel de confianza de 95%.

Dado esto se rechazó la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se aceptó la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), que acepta que al menos un par de medias es diferente.

#### **4.2.2. Varianza en pH final**

Para la evaluación de la influencia de los factores (°Brix y dilución) sobre el pH final, se aplicó el análisis de varianza de dos factores que permitió determinar qué factores tienen efecto significativo. Los datos se aprecian en los cuadros 4.16 y 4.17.



**Cuadro N° 4.15. pH final de los tratamientos**

		TEMPERATURA	
		25°C	37°C
<b>Dilución del mosto</b>	<b>1 : 0.5</b>	3.8	3.6
	<b>1 : 1</b>	3.9	4.6
	<b>1 : 1.5</b>	5	4.9

**Elaboración propia**

**Cuadro 4.16. Análisis de Varianza para el pH Final a 25°C**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Días	2.76933333	4	0.692333333	25.3292683	0.000135014	3.837853355
Dilución	2.308	2	1.154	42.2195122	5.60969E-05	4.458970108
Error	0.21866667	8	0.027333333			
Total	5.296	14				

**Elaboración propia**

**Cuadro 4.17. Análisis de Varianza para el pH Final a 37°C**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Días	2.0244444	5	0.404888889	23.06329	3.4235E-05	3.32583453
Dilución	3.2577778	2	1.628888889	92.78481	3.4954E-07	4.10282102
Error	0.1755556	10	0.017555556			
Total	5.4577778	17				

**Elaboración propia**

$$F_{5,10; 0,05} = 3,83$$

$$F_{2,10; 0,05} = 4,45$$

Los resultados del análisis de varianza indican que los efectos de los factores principales (Dilución y Dias), así como la interacción de ambos niveles, causan un efecto estadístico altamente significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el pH con un 95% de nivel de confianza.

Dado esto se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ).

#### 4.2.3. Varianza en Acidez finales

Para la evaluación de la influencia de los factores (°Brix y dilución) sobre la acidez final (g ác. cítrico/L), el análisis de dos factores con una sola muestra por grupo permitió determinar qué los factores y la interacción entre estos mismos si tienen efecto significativo sobre la variable respuesta. Los datos se aprecian en los Cuadros 4.19 y 4.20.

**Cuadro N° 4.18 Acidez final de los tratamientos**

		TEMPERATURA	
		25°C	37°C
<b>Dilución del mosto</b>	<b>1 : 0.5</b>	0,13	0,13
	<b>1 : 1</b>	0,14	0,12
	<b>1 : 1.5</b>	0,1	0,09

Elaboración propia

**Cuadro 4.19. Análisis de Varianza para Acidez Finales a 25°C**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Dias	0.0018	3	0.0006	4.1505E+15	2.4475E-46	4.757062663
Diluciones	0.00346667	2	0.00173333	1.199E+16	1.5663E-47	5.14325285
Error	8.6736E-19	6	1.4456E-19			
Total	0.00526667	11				

Elaboración propia

**Cuadro 4.20. Análisis de Varianza para Acidez Finales a 37°C**

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Días	0.0018	3	0.0006	4.1505E+15	2.4475E-46	4.757062663
Diluciones	0.00346667	2	0.00173333	1.199E+16	1.5663E-47	5.14325285
Error	8.6736E-19	6	1.4456E-19			
Total	0.00526667	11				

**Elaboración propia**

$$F_{3,6; 0,05} = 4,75$$

$$F_{2,6; 0,05} = 5,14$$

Dado los resultados, se rechazó la hipótesis nula (H0) y se aceptó la hipótesis alternativa (H1), que determina que al menos un par de medias es diferente.

## CONCLUSIONES

- El proceso planteado en nuestra investigación que consistía en fermentación en Batch utilizando la levadura *Saccharomyces cerevisiae* y destilación por arrastre de vapor; obtuvo un resultado satisfactorio. Se consiguió obtener etanol a partir de la pulpa de banano orgánico (*Musa x paradisiaca*) maduro no exportable.
- Según la experimentación realizada los parámetros físico-químicos más adecuados son: La dilución 1:1.5, fue la que obtuvo mejor producción de Etanol con un grado Brix igual a 8, que aunque se considere mínimo, en esta experimentación resultó de mayor rendimiento. El pH debe mantenerse de 4 a 6, para evitar el crecimiento de otros microorganismos que sean competencia para la levadura, además de ser un rango poco ácido que no pone en riesgo la vida de esta. La temperatura a 25°C, que aunque no influye en el rendimiento, si lo hace en el tiempo de fermentación, así vemos que, a mayor temperatura más rápido concluye la fermentación.
- En cada tratamiento realizado (6 muestras), se utilizó 1500 gr de pulpa y se obtuvo en promedio de 78 ml de bioetanol lo que hace un rendimiento de 0.054 ml de etanol/g de sustrato es decir 5,4% relación volumen masa. Además debemos mencionar que el destilado obtenido fue de 30% de pureza.
- Durante la realización de esta investigación se utilizó pulpa a 22 °Brix (antes de ser diluida), que es el máximo grado al que llego estando firme y homogénea, una vez que fue diluida los grados Brix cambiaron, esto se debió a que cada una de las muestras tuvo una cantidad de agua diferente, cuya relación era inversamente proporcional dado que al aumentar la cantidad de agua los grados Brix disminuían, sin embargo, no percibimos un cambio significativo en la cantidad de alcohol que se obtuvo en cada muestra.

## RECOMENDACIONES

- De acuerdo con la experimentación realizada se considera pertinente sugerir que para mejorar el rendimiento del sustrato fermentado, debería realizarse el método de destilación fraccionada, por su alta eficacia en la separación de líquidos según características (grados alcohólicos).
- Se recomienda un estudio de factibilidad de una planta de producción de etanol a partir de pulpa de banano (*Musa x paradisiaca*) orgánico no exportable, que recolecte o compre la materia prima de las asociaciones y productores del valle del Chira. Además de comercializar el producto, localmente y a nivel nacional si fuere posible. Esta recomendación aplica también a las asociaciones bananeras que deseen extender su negocio pudiendo industrializar, de modo que puedan maximizar el aprovechamiento de su producto.
- Realizar investigaciones experimentales con más muestras para determinar el rendimiento final del alcohol, así mismo sugerir que se experimente con la cascara de plátano para determinar si es posible obtener alcohol de ella, de modo que, podamos aprovechar la fruta al 100%.
- Recomendamos probar otros métodos de experimentación tales como: la fermentación continúa con parámetros controlados en la fermentación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AFANADOR, A.M. (2005). “El banano verde de rechazo en la producción de alcohol carburante”, *Revista EIA, ISSN 1794-1237, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín.*

APAZA, L. (2016). Cinética de extracción de Alcohol de la planta macha macha (*peruvianum jancs*) por el método de fermentación. Tesis para optar título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional del Altiplano

BADUI, S. (2013). Química de los alimentos. México: PEARSON Educación.

BASTIDAS, T. (2010). Aislamiento, selección y preservación de cepas para la obtención de bioetanol a partir de residuos de banano, disponible en <http://es.scribd.com/doc/34026364/PROYECTO-banano-NMB> visitado el 29/03/2018

CARRASCO, M; ZUÑIGA, F. (2016). Obtencion de Bioetanol por digigestion enzimática de *Aspergillus niger* Y *Bacillus subtilis* en bagazo de caña de azúcar, bagazo de maltay mezcla de estos, en sistemas de fermentacion con *Saccharomyces cerevisiae* Y *Zymomonas mobilis*. Tesis, Universidad Católica de Santa Maria, Arequipa- Peru.

GARCÍA J. (2007). Fibras papeleras. Barcelona. Edicions UPC

GONZALES, G. (2014). Obtención de Alcohol Etfílico a partir de caña de maíz. Tesis de grado para optar al título profesional de Químico. Universidad Alas Peruanas.

HERNÁNDEZ, S. (2012). El bagazo de la caña de azúcar, 2012. Tesis de grado.

MARTÍNEZ, A. LOPERA, L. (2003). “Evaluación del rendimiento de etanol en una fermentación continua con *Zymomonas mobilis*”. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Medellín, 2003.

PUERTAS, M. (2018). Efecto de la cinética de hidrolisis acida de almidón de maíz (*Zea mays L.*) en el rendimiento para la obtención de Etanol. Tesis para optar opr el título de Ingeniería Agroindustrial e Industrias Alimentarias. Universidad Nacional de Piura.

- SIMMONDS, N. W. (1966) Los plátanos. (Blume: Barcelona).
- SOLIS, A. (2007). Cultivo de Plátano (genero musa) en México. Monografía para optar por el título de Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- PERAFÁN, F. (2009). Azúcar de caña. Cali - Colombia.
- SUBIRÓS, F. (2000). El cultivo de la caña de azúcar. Editorial Universidad Estatal a Distancia. Primera edición, 2000.
- SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE ADUANAS, (2007). Producción, Exportación e Importación de la caña de azúcar (Perú) Compendio estadístico agrario OIA- MINAG. Lima – Perú Abril del 2007.
- UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA MOLINA (2013). Guía Técnica: “Manejo integrado de Banano orgánico”
- ZAPATA A.M. (2010) “Producción en continuo de etanol a partir de banano de rechazo (cáscara y pulpa) empleando células inmovilizadas”. Instituto de Química- Universidad de Antioquia. Revista Tumbaga 5 49-60.
- ZETA, D. (2018). Obtención y caracterización de licor a partir de papaya (*carica papaya L.*) y Maracuyá (*Passiflora edulis form, Flavicarpa*). Tesis para optar el título de Ingeniería Agroindustrial e Industrias Alimentarias. Universidad Nacional de Piura.

## ANEXOS

### ANEXO N°1: PREPARACIÓN DE MEZCLA SULFOCRÓMICA

Una mezcla sulfocrómica (ácido crómico) es una solución para limpieza profunda de vidrio sobre todo cuando tiene incrustaciones de grasas y/o productos orgánicos.

Posee un altísimo poder oxidante. Su utilización está muy difundida pero se deben tomar cierto tipo precauciones y conocer alguno de sus efectos para no cometer errores que puedan exponernos a situaciones peligrosas o grandes pérdidas de tiempo. Consiste en una solución diluida de dicromato de sodio o potasio, ( $\text{Cr}_2\text{O}_7\text{Na}_2$  o  $\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$ ), en ácido sulfúrico concentrado.

La mezcla sulfocrómica tiene color pardo que le imparten los iones de Cr (VI) y a medida que se va agotando estos iones se reducen a Cr (III) de color verde.

La elección de la base se hace teniendo en cuenta que el de potasio es menos higroscópico (capacidad de algunas sustancias de absorber humedad del medio circundante) y puede conservarse indefinidamente en recipientes de cierre común, pero es bastante más caro que el de sodio. En condiciones normales es aconsejable utilizar este último de grado comercial, que además es más fácil de conseguir.

#### Preparación

Las especificaciones de

1. Pesar 0,15 gramos de dicromato de potasio,
2. disolver el dicromato en 100ml de ácido sulfúrico al 12,88%.
3. mezclar 10ml de la solución con 16ml de ácido sulfúrico al 13,72%.
4. Verter al tubo de ensayo con la muestra del destilado.



## **ANEXO N°2: IMÁGENES DEL PROCEDIMIENTO**

### **Recolección**



### **Maduración**



### **Pesado**



### **Selección y Lavado**



## Preparación y Acondicionamiento del mosto



## Procedimiento fermentación



## Destilación



**Alcohol Obtenido (30 GL)**



**ANEXO N°3: Especificaciones Técnicas Etanol NTP-321.126.200**

Características	Especificaciones		Método de ensayo		
	Mín.	Max.	ASTM	EN	NTP
Etanol anhidro, % volumen	95.2	-	D 5501	EN 15721	-
Metanol, % volumen	-	0.5	D 5501	EN 15721	-
Contenido de agua, % peso	-	0.3	E 203 E 1064	-	-
Contenido de desnaturalizante, % volumen	2.00	3.00	-	-	-
Goma existente, lavada con solvente mg/100mL	-	5.0	D 381	.	.
Contenido de cloruros inorgánicos, ppm masa (mg/L)	-	10	D 7319 D 7328	-	-
Apariencia	Claro y brillante, libre de contaminantes suspendidos o precipitados		Inspección visual	-	-
Contenido de cobre, mg/kg	-	0.1	D 1688	.	.
Contenido de fósforo, mg/L	-	0.5	D 3231	EN 15487	.
Acidez (Como ácido acético), % masa (mg/L)	-	0.007 (56)	D 1613	-	-
pHe	6.5	9.0	D 6423	-	-
Azufre, ppm masa	-	30	D 2622 D 3120 D 5453	-	-
Sulfato total, ppm masa	-	4	D 7318 D 7319 D 7328	-	-

